

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS – CCE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

JOSÉ JÚLIO GARCIA DE FREITAS

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA INORGÂNICA DE  
REJEITOS SEGREGADOS DE SERRAGEM DE  
ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO

VITÓRIA  
2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JOSÉ JÚLIO GARCIA DE FREITAS

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA INORGÂNICA DE REJEITOS SEGREGADOS DE  
SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para Obtenção de título de Mestre em Química, na área de concentração Química e Recursos Naturais  
Orientador: Prof. Dr. Honório Coutinho de Jesus

VITÓRIA  
2008

JOSÉ JÚLIO GARCIA DE FREITAS

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA INORGÂNICA DE REJEITOS  
SEGREGADOS DE SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO  
ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Química na área de concentração Química e Recursos Naturais.

Aprovada em 08 de agosto de 2008.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Honório Coutinho de Jesus  
DQUI - Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Tereza Weitzel Dias Carneiro Lima  
DQUI - Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mirna Aparecida Neves  
CCA – Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Dr. Aurélio Azevedo Barreto Neto  
Cefet-ES – Centro Federal de Educação Tecnológica do  
Espírito Santo

## AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus pela força e discernimento a mim proporcionados, sem os quais nada do que será visto neste trabalho poderia ser lido.

Agradeço à minha esposa Claudia M. Scalzer que me proporcionou grande tranquilidade gerenciando quase sozinha, tudo pertinente a nossa família.

Agradeço ao meu orientador Prof. Honório Coutinho de Jesus, coordenador do Laboratório de Química Analítica (LQA/UFES) pela orientação técnica-científica, e por todos os momentos de reflexão e de atitudes que promoveram minhas ações na elaboração e formatação desta dissertação.

A toda a equipe de do Laboratório de Química Analítica da Universidade Federal do Espírito Santo, em especial, à Srta. Nádia Ribeiro Amorim, química do laboratório, que em vários momentos nos auxiliou e até conduziu análises químicas pertinentes à minha pesquisa.

Estendo também a gratidão aos Laboratórios de Instrumentação do Petróleo (Labpetro/UFES), pela condução das análises térmicas dos resíduos silicáticos e ao Laboratório de Raio X do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), pelas análises dos resíduos carbonáticos e silicáticos por difração de raios- X.

Ao Sr. Valério Raymundo, Secretário de Meio Ambiente de Cachoeiro de Itapemirim, profissional de capacidade e sensibilidade inquestionáveis, que abriu várias possibilidades de acesso ao setor de rochas ornamentais no Espírito Santo.

Sou muito grato ao Sindirochas e ao Sebrae pelo apoio financeiro e logístico, fundamentais ao desenvolvimento desta pesquisa e, em especial, ao FACITEC /CDV-PMV pela bolsa de mestrado a mim concedida.

À minha esposa e ao meu filhinho tão queridos,  
alicerces da minha vida.

Aos meus amados Pai e Mãe, a quem sou eternamente  
grato pelo que sou.

“Alimente sempre a convicção e a esperança de que outra relação para com a terra é possível, mais em harmonia com seus ciclos e respeitando os seus limites. Acredite que a crise ecológica não precisa se transformar numa tragédia, mas numa oportunidade de mudança para outro tipo de sociedade mais respeitadora e incluyente.

Dê centralidade ao coração, à sensibilidade, ao afeto, à compaixão e ao amor, pois são estas dimensões que nos mobilizam para salvar a mãe terra e seus ecossistemas.

Reconheça que a terra é viva, mas finita, semelhante a uma nave espacial, com recursos escassos e limitados.

Resgate o princípio da re-ligação: todos os seres, especialmente, os vivos, são interdependentes, e por isso têm um destino comum. Devem conviver fraternalmente entre si.

Valorize a biodiversidade e cada ser vivo ou inerte, pois tem valor em si mesmo independentemente do uso humano.

Reconheça as virtualidades contidas no pequeno e no que vem de baixo, pois aí podem estar contidas soluções globais.

Quando não encontrar uma solução, confie na imaginação criativa, pois ela esconde em si respostas surpreendentes.

Tome a sério o fato de que para os problemas da terra não há apenas uma solução, mas muitas que devem surgir do diálogo, das trocas e das complementaridades entre todos.

Exercite o pensamento lateral, quer dizer, coloque-se no lugar do outro e tente ver com os olhos dele. Assim verá dimensões diferentes e complementares da realidade.

Respeite as diferenças culturais (cultura camponesa, urbana, negra, indígena, masculina, feminina etc), pois todas elas mostram formas diversas de sermos humanos.

Supere o pensamento único do saber dominante e valorize os saberes cotidianos, do povo, dos indígenas e dos camponeses porque corroboram na busca de soluções globais.

Cobre que as práticas científicas sejam submetidas a critérios éticos a fim de que as conquistas beneficiem mais à vida e à humanidade que ao mercado e ao lucro.

Não deixe de valorizar a contribuição das mulheres porque são portadoras naturais da lógica da complexidade e são mais sensíveis a tudo o que tem a ver com a vida.

Faça uma opção consciente por uma vida de simplicidade que se contrapõe ao consumismo. Pode-se viver melhor com menos, dando mais importância ao ser que ao ter e ao aparecer.

Cultive os valores *intangíveis* quer dizer, aqueles bens relacionados à espiritualidade, à gratuidade, à solidariedade, à cooperação e à beleza como os encontros pessoais, as trocas de experiências, o cultivo das artes especialmente da música.

Mais que parte do problema, considere-se parte de sua solução.”

## PREFÁCIO

O presente trabalho está inserido num projeto maior que visa caracterizar quimicamente resíduos de serragem de blocos de 50 tipos diferentes de rochas comerciais e ornamentais.

O Projeto Caracterização de Resíduos de Serragem de Blocos de Rochas Ornamentais surgiu de observações realizadas pela equipe de pesquisa do Laboratório de Química Analítica (LQA) da Universidade Federal do Espírito Santo, a partir de laudos técnicos emitidos por outros laboratórios e do Eng<sup>o</sup>. Sr. Valério Raymundo, detentor de grande experiência acumulada no setor de rochas ornamentais e mestre em Produção Vegetal do CCA /UFES – Campus de Alegre.

Os resultados obtidos ao final do referido Projeto, poderão culminar numa sugestão ao setor industrial de complementação de metodologia de produção, relativo ao monitoramento da alcalinidade do resíduo. Outra possibilidade de sugestão de modificação é a da disposição final segregada dos resíduos de serragem de rochas carbonáticas e silicáticas, como será abordado mais adiante neste trabalho de pesquisa.

É importante enfatizar que não houve tempo hábil para obtenção dos dados, conforme planejado, a contento, devido a dificuldades de cunho burocrático, relativas ao atraso na assinatura de convênios e conseqüente demora no repasse de recursos da parte do mesmo, necessários para a viabilização e plena realização da pesquisa.

# Sumário

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.a Objetivo Geral.....	2
1.1.b Objetivos Específicos.....	2
2- Revisão Bibliográfica.....	3
2.1 Breve Histórico sobre as Rochas Ornamentais.....	3
2.2 Panorama Nacional e Regional da Indústria de Rochas Ornamentais.....	5
2.3 A Importância da Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais.....	9
2.4 Aspectos Básicos da Geologia de Rocha.....	15
2.4.1 Rochas Magmáticas ou Ígneas.....	15
2.4.2 Rochas Sedimentares.....	16
2.4.3 Rochas Metamórficas.....	16
2.4.4 Aspectos Geológicos do Espírito Santo.....	18
2.5 Caracterização Mineralógica.....	26
2.5.a Rochas Silicáticas.....	26
2.5.b Rochas Carbonáticas.....	27
2.6 Caracterização Mineralógica das Rochas em Estudo.....	29
3- Manufatura das Rochas Ornamentais.....	31

4-	Demanda Ambiental.....	38
	4.1 Impactos Ambientais Inerentes da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais.....	41
5-	Parâmetros Norteadores da Toxicologia de Resíduos Sólidos Industriais.....	46
	5.1 Classificação do Resíduo.....	47
6-	O Propósito dos Ensaios de Solubilização e Lixiviação.....	51
	6.1 Ensaio de Solubilização para Resíduos Sólidos .....	51
	6.2 Ensaio de Lixiviação para Resíduos Sólidos.....	51
7-	Materiais e Métodos.....	53
	7.1 Amostragem.....	53
	7.2 Avaliação do pH.....	58
	7.3 Ensaio de Solubilização para Resíduos Sólidos.....	58
	7.4 Ensaios de Lixiviação para Resíduos Sólidos.....	61
	7.5 Dissolução Total das Amostras.....	64
	7.6 Determinação de Metais por Espectrometria de Absorção Atômica.....	64
	7.7 Análise Térmica.....	65
	7.8 Difractometria de Raios-X.....	65
8-	Resultados e Discussões.....	67
	8.1 Avaliação do Processo industrial.....	67
	8.2 Teor de Água nas Amostras.....	69
	8.3 Análise Térmica.....	70
	8.4 Análise de pH das Amostras de Rejeito e dos Extratos Solubilizados e Lixiviados.....	71
	8.5 Análise Qualitativa por Difração de Raios-X dos Resíduos.....	74
	8.6 Teores Totais de Metais nas Amostras de Rejeito Originais.....	75
	8.7 Análise de metais e pH após procedimento de lixiviação e solubilização.....	77
9-	Conclusões e Sugestões de Trabalhos Futuros.....	82
10-	Referências.....	86
11-	ANEXOS .....	96

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- RCRO – Resíduo de corte de rochas ornamentais.
- CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
- Sindirochas – Sindicato das Indústrias de Rochas Ornamentais, Cal e Calcário do Estado do Espírito Santo.
- TVV – Terminal Portuário de Vila Velha – ES
- CETEMAG – Centro Tecnológico do Mármore e do Granito
- ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.
- APL – Arranjo Produtivo Local
- UNESP – Universidade Estadual Paulista
- UFES – Universidade Federal do Espírito Santo
- LQA – Laboratório de Química Analítica da UFES
- AFEB – Agência de Fomento do Estado da Bahia
- ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico
- RB – Rochas Brutas
- RP – Rochas Processadas
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Resíduo CLASSE IIA – Resíduo não-inerte
- Resíduo CLASSE IIB – Resíduo Inerte
- Resíduo CLASSE I – Resíduo Perigoso
- IDAF – Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo
- SEP – Secretaria Estadual de Planejamento do Espírito Santo
- IJSN – Instituto de Pesquisas Jones dos Santos Neves
- Conama – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente do ES
- SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequena Empresas
- CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais estados exportadores de rochas ornamentais no Brasil.....	6
Tabela 2	Comparação entre valores médios de mercado.....	8
Tabela 3	Ensaio físico-mecânico para caracterização de fases de Produção de granitos e mármore.....	14
Tabela 4	Identificação das rochas cujos resíduos de corte serão caracterizados.....	22
Tabela 5.a	Composição mineralógica / caracterização petrográfica.....	29
Tabela 5.b	Continuação da Composição mineralógica / caracterização petrográfica.....	30
Tabela 6	Composição química da granalha.....	34
Tabela 7	Composição química da lâmina de serragem de rochas ornamentais.....	35
Tabela 8	Minerais industriais e suas aplicações.....	41
Tabela 9	Concentrações limítrofes de diversos contaminantes em água superficial adotados pela resolução Conama n° 357 de 2005 (CLASSE I).....	48
Tabela 10	Padrões de potabilidade definidos pela portaria 518, de 25/03/2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004).....	46
Tabela 11	Valores limites permitidos pela norma ABNT NBR 10004:2004..	50
Tabela 12	Limites de detecção para análise instrumentais por F-AAS e GF-AAS.....	65
Tabela 13	Desgaste Amsler para alguns granitos deste trabalho.....	69
Tabela 14	Teores totais de metais e pH das amostras originais de rejeito..	76
Tabela 15	Correlações de pH com teores totais de alguns metais nos rejeitos secos.....	76
Tabela 16	Correlações entre os principais parâmetros analisados.....	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Avaliação das exportações capixabas no setor de rochas ornamentais.....	7
Figura 2 - Comparação dos volumes comercializados de rochas ornamentais no mundo.....	9
Figura 3 - Metamorfismo regional em área da costa instável sujeita a fortes compressões.....	17
Figura 4 - Metamorfismo de contato provocado pela intrusão de um batólito.....	17
Figura 5 - Rocha Amarelo Cachoeiro – biotita gnaisse granitizado.....	19
Figura 6 - Esboço geológico e magmatismo granítico do estado do Espírito Santo.....	20
Figura 7 - Localização, no ES, das jazidas de extração das rochas estudadas, pelas siglas.....	21
Figura 8 - Distribuição aproximada por municípios de jazidas de granitos e mármore ornamentais do Estado do Espírito Santo e respectivas nomenclaturas comerciais.....	23
Figura 9.a - Rochas ornamentais e suas siglas alvo de investigação química no resíduo de serragem.....	24
Figura 9.b - Continuação de rochas ornamentais alvo de investigação química no resíduo de serragem.....	25
Figura 10 - Etapas produtivas e principais produtos da indústria de rochas ornamentais.....	31
Figura 11 - Fluxograma do processo de beneficiamento primário e secundário de rochas ornamentais.....	33
Figura 12 - A- Vista superior de um tear em processo de serragem (corte); inserção da lama abrasiva (emulsão); B- Descarte final da lama abrasiva de corte em vala sem impermeabilização ou compactação do solo.....	35

Figura 13 - A- Processo de serragem (corte) de bloco rochoso silicático. Observe o deslocamento de pequena quantidade de lama abrasiva no feixe de lâminas. B- Lâminas de aço-carbono novas em estoque, prontas para serem utilizadas no processo de serragem.....	36
Figura 14 - A- Processo de corte de bloco granítico com elevada demanda de água (vista lateral). B- Vista frontal de um tear convencional, em pleno funcionamento.....	36
Figura 15 - Processo de polimento realizado em placas semi-acabadas de granito.....	37
Figura 16 - Avaliação da tendência de elevação nas exportações de rochas processadas.....	38
Figura 17 - Descarte de lama residual de mármore em vala após serragem. Volume abundante de água de descarte.....	43
Figura 18 - A- Depósitos rochosos adjacentes à lavra que podem desmoronar. B- Extração de granito com grande geração de ruído e impactos visuais.....	43
Figura 19- Preparo para a amostragem a ser realizada na espurga de cada tear de forma segregada.....	54
Figura 20- Perfil de pilha residual em um leito de secagem. A heterogeneidade é flagrante (estratificação); existem focos de concentração de cal extinta e de ferro em oxidação.....	54
Figura 21 - Diagrama mostrando a metodologia adotada na amostragem de resíduos sólidos de corte de granitos e mármore.....	55
Figura 22 - Frascos de amostragem, rotulados adequadamente para facilitar a organização dos dados.....	56
Figura 23 - Local onde as amostragens foram realizadas, abaixo dos teares multilâminas, na linha de beneficiamento de rochas ornamentais.....	57
Figura 24 - Esquema modelo de um tear multilâminas, com explicitação do local onde as amostragens foram realizadas na área dentro do círculo em vermelho.....	57
Figura 25 - Avaliação da alcalinidade de amostras de corte de blocos de mármore e granitos.....	58

Figura 26 - Em 1, preparo de amostra para a secagem a 42 °C em estufa; em 2, amostras em secagem pré-solubilização, em bandejas plásticas, a 42 °C; em 3, resíduos secos, para a determinação do teor de umidade preliminar ao ensaio de solubilização; em 4, pesagem de alíquota de 250g para ensaio de solubilização, segundo norma NBR 10006:2004.....	59
Figura 27 - Em 1, pré-agitação em ensaio de solubilização, para evitar estratificação do resíduo, em agitador artesanal, feito com motor de pára-brisa veicular; em 2, selagem do frasco de solubilização residual a passar pelo ensaio de solubilização; em 3, amostras em ensaio de solubilização; em 4, obtenção do extrato solubilizado em aparelho de filtragem a vácuo.....	60
Figura 28 - Ensaio e lixiviação conforme NBR 100.005:2004 ABNT.....	62
Figura 29 - Avaliação do pH pós-lixiviação.....	63
Figura 30 - Correlação entre o desgaste Amsler com os teores de Fe e Cal no rejeito.....	69
Figura 31 - Filtro-prensa em atividade.....	70
Figura 32 - Avaliação do pH original das amostras por etapa de serragem, de diferentes resíduos segregados de rochas ornamentais silicáticas.....	73
Figura 33 - Correlação entre cromo total e pH das amostras originais de rejeito de granito.....	74
Figura 34 - Gráficos de correlações significativas entre pH de amostras e metais analisados.....	80

## RESUMO

Os resíduos industriais de rochas ornamentais estão em destaque devido ao enorme impacto ambiental gerado, pois grandes volumes desse material são gerados diariamente na serragem dos blocos rochosos. No gerenciamento de resíduos, a caracterização é etapa importante e que norteia atitudes a serem tomadas na destinação dos mesmos. O presente trabalho buscou uma caracterização química inorgânica de resíduos de serragem do setor de rochas ornamentais, partindo de uma amostragem segregada, que consistiu na coleta de amostras diretamente no descarte dos teares de serragem, após o hidrociclone do mesmo e antes de serem misturadas no tanque de efluentes.

Para cada amostra coletada foram obtidos em laboratório os valores de pH, teor de umidade, teor de sólidos úmidos e secos. As amostras foram submetidas aos ensaios de solubilização e lixiviação, conforme a série de normas para resíduos sólidos NBR 10.004, 10.005, 10.006 e 10.007, ambas de 2004, da ABNT. Os resíduos segregados também foram submetidos ao ensaio de abertura total para determinação de alguns metais de interesse. Os extratos gerados nos ensaios de lixiviação, solubilização e abertura total foram analisados pela técnica de absorção atômica (F AAS e GF AAS) para determinação de alguns metais de interesse. Para algumas amostras estudadas foi realizada a análise difratométrica de Raios-X para investigação da composição mineralógica do material segregado, e gerar possíveis correlações com os extratos obtidos após teste de solubilização e lixiviação. Também foram realizadas algumas análises térmicas (TG e DTG) com o objetivo de avaliar possíveis interações dos insumos utilizados com o pó de algumas das rochas serradas.

Em relação aos resíduos verificou-se a possibilidade de previsão do volume gerado de lama abrasiva através do dimensionamento da quantidade de insumos utilizados e volume de rochas processadas.

O processo de corte de granito apresentou-se uniforme com relação ao consumo de água ( $44,3\% \pm 6,0$ ), contudo mais dispendioso do que o mesmo processo para mármore devido ao maior consumo de insumos aliado à maior dureza dos granitos.

Os resultados da TG e DTG demonstraram-se coerentes em relação à quantidade do insumo CaO durante o processo de serragem, representando 0,5 a 1,2% da massa total das amostras.

Verificou-se através das boas correlações obtidas entre Cr total e Al solubilizado com o pH original das amostras, uma solubilização acentuada desses metais em função do elevado pH das amostras originais.

Pôde-se comprovar através da difratometria de Raios-X, a presença majoritária de Al nos minerais componentes das rochas e a razão da tonalidade escura (biotita) de algumas rochas-mãe geradoras das amostras PSG, PF, PA e VP. Tal eficácia não se repetiu na investigação do possível mineral gerador do Cr solubilizado nas amostras ASF, AI e ASC. Em relação ao material carbonático, confirmou-se nos difratogramas a presença de  $\text{Ca,MgCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  e  $\text{CaCO}_3$ .

Através das análises de pH e determinação de metais (Na, Cr, Al, Cd, Pb, Mn, Zn, Fe, Cu, Ca e As) pela técnica de absorção atômica nos extratos obtidos, pôde-se classificar amostras como perigosas (Classe I) ( $\text{pH} > 12,5$ ) (ASF, AI, PA, OITA, ASC e JG) Classe IIA (não perigoso e não inerte) (CA e PSG) e Classe IIB (não perigoso e inerte)(CC, GN, PVC, BR, MBC e SMO).

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduos industriais, caracterização, rochas silicáticas e carbonáticas.

## ABSTRACT

Industrial wastes of ornamental rocks are in prominence due to the enormous environmental impact generated as result of the large volumes of material generated from sawdust of rock blocks. In waste management, the characterization stage is important and that guides attitudes to be taken in the destination. The present work wished an inorganic chemical characterization of residue from ornamental stones sector sawdust, sampling from a segregated, which was the collection of samples directly at the disposal of sawdust looms, after the hydrocyclone of it and before being mixed in the tank sewage.

For each sample collected were obtained in the laboratory values of pH analysis, moisture content, solid content of wet and dry. The samples were subjected to tests of solubilization and leaching, as the series of standards methods for solid waste NBR 10,004, 10,005, 10,006 and 10,007, both from 2004, by ABNT. The segregated wastes were also subjected to the test for total dissolution for determination of some metals of interest. The extracts generated in the test for leaching, solubilization and total dissolution were analyzed by the technique of atomic absorption (F-AAS and GF-AAS) for determination of some metals of interest. For some samples was performed the analysis X-ray diffraction to research the mineralogical composition of the material segregated, and generate possible correlations with the extracts obtained after solubilization and leaching test. There were also conducted some thermal analysis (TG and DTG) with the aim of evaluating possible interactions of the materials inputs used with the powder of some of the rocks sawn.

For wastes there was the possibility of forecasting the volume of sludge generated by the abrasive size of the quantity of materials used and volume of rock processed.

The process of cutting granite presented uniform water consumption ( $44,3\% \pm 6,0$ ), however it was more expensive than the same process for marbles because of the higher consumption of input materials related to the greater hardness of the granite.

The TG and DTG showed consistent results on the amount of input CaO during the process of sawing, representing (0,5-1,2)% of the samples.

A great solubilization of these metals was found through good correlations obtained between total Cr and Al in terms of the high pH values of the original samples.

It was proved through the X-ray diffraction, the presence of Al in major mineral components of rocks and the reason for the dark tone (biotite) from some mother-

generating rock samples PSG, PF, PA and VP. This efficiency was not repeated in investigating the possible generator of Cr soluble minerals in the samples ASF, AI and ASC. For the material carbonates, it was confirmed in the diffraction graph, the presence of  $\text{Ca,MgCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  and  $\text{CaCO}_3$ .

Through pH analysis and metals determination (Na, Cr, Al, Cd, Pb, Mn, Zn, Fe, Cu, Ca and As) by the technique of atomic absorption in the extracts obtained, it could be classified as dangerous samples (Class I) ( $\text{pH} > 12.5$ ) (ASF, AI, PA, OITA, ASC and JG) Class II (not dangerous and not inert) (CA and PSG) and Class B (not dangerous but inert) (CC, GN, PVC, BR, MBC and SMO).

KEY-WORDS: industrial wastes, characterization, granite.

## 1- Introdução

As rochas ornamentais, principalmente o granito e o mármore, são intensamente utilizadas em aplicações estéticas e decorativas, na construção civil. Apenas no Brasil, estima-se a existência de mais de 500 tipos comerciais de rochas ornamentais numa produção estimada de 3 milhões de toneladas anuais (VIEIRA JÚNIOR, 2001).

A indústria de beneficiamento de rochas ornamentais já mostrou ao estado do Espírito Santo o grande potencial produtivo e grande capacidade de gerar divisas para este estado. Contudo, existem grandes carências no setor que necessitam de investimentos, seja na área humana, no melhoramento de processos, na área de saúde ocupacional ou na área ambiental o setor carece de pesquisas que fomentem novas tecnologias produtivas e que viabilizem, pelo menos, a qualidade de vida aos que vivem do setor e das populações de entorno das unidades de produção.

Economias modernas consomem recursos naturais de forma crescente na produção de bens e serviços; também é crescente, porém não na mesma proporção a preocupação com o destino a ser dado aos resíduos gerados nos processos industriais, pois há indícios de que estamos chegando numa era limítrofe para a manutenção da qualidade de vida de nossas populações (PEREIRA, 2004).

Quanto maior a produção de bens minerais manufaturados, certamente o passivo ambiental do descarte inadequado de resíduos sólidos industriais terá sua evolução proporcional. Muitos resíduos, hoje descartados misturados, se estivessem segregados poderiam gerar reduções significativas de custo ao setor de rochas ornamentais.

Durante o desdobramento de blocos de granito nos teares que utilizam granalha (Fe/aço) como material abrasivo, são produzidos finos de Fe/aço em concentração com minerais presentes nas rochas serradas, em função do atrito que ocorre entre as lâminas de aço, mistura abrasiva e bloco rochoso. Estes finos provocam alterações nas condições reológicas da mistura abrasiva diminuindo a produtividade. Assim, em intervalos previamente calculados em função da metragem horária cortada pelo tear, são realizados expurgos (retiradas) da mistura abrasiva em ciclones deslamadores, buscando um corte na fração < 0,42 mm para eliminação dos finos (pó de rocha + granalha não-ativa + cal hidratada + H<sub>2</sub>O) do processo.

Normalmente, estes resíduos são descartados em bacias de deposição adjacentes à serraria (VIEIRA JÚNIOR, 2001). Este material apresenta em torno de 40% em massa de água e um pH em torno de 10 a 12,5.

Para uma tentativa de aproveitamento destes rejeitos, faz-se necessário um estudo de características químicas e mineralógicas, possibilidades de segregação dos resíduos e demanda mercadológica industrial.

A falta de conhecimento técnico no desdobramento de blocos de rochas ornamentais, na etapa de serragem, bem como as condições ideais de operação dos teares e principalmente, o controle na dosagem de insumos (granalha, cal e abrasivos) são alguns dos problemas mais notáveis nas empresas que ainda se utilizam dos teares convencionais no processo industrial (VIEIRA JÚNIOR, 2001).

## 1.1 – Objetivos

### 1.1.a – Objetivo Geral

O estudo proposto está relacionado com a “caracterização química inorgânica da lama abrasiva liberada após corte ou serragem de blocos de granitos e mármore de forma segregada”, possibilitando subsídio técnico-científico para a gestão adequada desse rejeito.

### 1.1.b – Objetivos Específicos

- Analisar as amostras de rejeitos de serragem de granito e mármore quanto aos teares de metais e pH, e inferir possíveis diferenças entre os rejeitos estudados e associá-los as rochas geradoras.
- Sugerir complementação ao processo industrial relativa ao monitoramento da alcalinidade da lama gerada através de medidas de pH;
- Gerar dados químicos que possam ser consultados por especialistas em gestão de resíduos sólidos industriais e ajudá-los na proposição da destinação adequada, que reduza significativamente o grande passivo ambiental existente;
- Sugerir a segregação de resíduos, pelo menos de rochas silicáticas e carbonáticas, para que o mesmo possa ser encarado com uma nova matéria prima, com maior valor agregado e aplicabilidade, podendo reduzir custos de produção do setor.

## 2 – Revisão Bibliográfica

### 2.1 - Breve Histórico sobre as Rochas Ornamentais

Não é nova a idéia de utilizar rochas e minerais como alicerce de construções ou como adorno em estruturas de importância histórico-econômicas para os seres humanos de diferentes etnias. Os egípcios já faziam isto bem antes da idade de Cristo, construindo obras que deram origem ao termo “obras faraônicas” e que chamam atenção do mundo até os dias atuais pela beleza, tamanho e qualidade das construções, visto que muitas delas encontram-se em quase perfeito estado de conservação até hoje.

No Brasil, as construções em pedra datam principalmente do período colonial, destacando-se a região de Ouro Preto, Mariana e adjacências, berço dos principais focos da arquitetura barroca no Brasil, de acordo com VILLASCHI FILHO (2000).

Do Brasil colonial para os dias atuais, a construção civil se modernizou, se tornando mais rápida, eficiente, segura e principalmente sustentável.

Tal afirmação não se traduz na perda de importância das rochas no processo de construção de grandes cidades pelo mundo, desde estruturas comerciais mais arrojadas, até residências que num todo compõem um ambiente urbano. Tanto na composição de massas cimentícias, como na ornamentação de construções variadas, as rochas se fazem presentes. Tanto uma como a outra, tem origem no extrativismo mineral e envolvem um passivo ambiental que será comentado de forma mais técnica, adiante (PEREIRA, 2004).

Segundo CHIODI FILHO (2004), o termo “rocha ornamental”, designa materiais rochosos que passam por uma cadeia de beneficiamento desde a jazida até o polimento fino e acabamentos especiais industriais; já o termo “pedra ornamental” é utilizado para identificar rochas ou peças decorativas *in natura*, sem necessitar de acabamentos pormenorizados.

No tocante a área de ornamentação, as rochas sofreram enormes modificações, sendo essas responsáveis pela maior agregação de valor e crescimento do setor mineral (CHIODI FILHO, 2004).

A implantação das primeiras indústrias brasileiras de beneficiamento de mármore se deu no século XIX, de forma artesanal, por imigrantes italianos e portugueses.

Tais indústrias utilizavam-se da força das águas para funcionarem e sofriam forte concorrência italiana, imposta pela importação de mármore de Carrara (VILLASCHI FILHO, 2000).

A indústria brasileira vem tomando impulso desde a década de 60, se destacando inicialmente pela grande exportação de blocos rochosos. Hoje, a exportação de matéria-prima no setor já vem sendo consideravelmente reduzida e a venda de rochas processadas vem crescendo, possibilitando crescimentos substanciais às empresas do setor (ABIROCHAS, 2008).

Em termos de exportação de blocos brutos, o grande incremento se verificou na década de 70, alcançando expressão comercial (CHIODI FILHO, 2003).

Em especial, as décadas de 80 e 90 chegaram a serem chamadas de segunda idade da pedra, tal foi o crescimento e a expansão do setor de rochas ornamentais no Brasil e no mundo.

Segundo VILLASCHI FILHO (2000), levando-se em conta registros históricos mais antigos (500 mil anos a.C.) até os dias de hoje, acredita-se que a quantidade de rochas utilizadas em estado natural atinja 5,4 bilhões de toneladas, das quais 300 milhões foram empregadas como material ornamental, sendo o restante empregado como brita, pedra moída, etc.

Atualmente o setor de rochas ornamentais passa por um momento delicado, pois o principal mercado importador das rochas brasileiras, os Estados Unidos da América, apresentam uma crise na área de construção civil e imobiliária, acarretando certo esvaziamento das exportações de semi-acabados. O mercado interno não absorveu toda a produtividade do setor referente às exportações, mas vem numa agradável ascendência, pois o déficit de moradia no Brasil é enorme frente aquele país e os índices da construção civil brasileira estão quebrando recordes históricos. Este fato vem alimentando o crescimento das grandes empresas do setor, possibilitando razoáveis crescimentos, mas as pequenas e médias empresas se vêem quase na obrigação de prestar de serviços às grandes. Aquelas que não optarem por esta possibilidade, certamente vão ter dificuldades na manutenção de suas atividades, havendo possibilidades de pedidos de falência, a não ser que estejam com algum material exclusivo de alta comercialização (ABIROCHAS, 2008).

## 2.2 - Panorama Nacional e Regional da Indústria de Rochas Ornamentais

Há muito se sabe a respeito da enorme geodiversidade existente no Brasil, mas o interesse pelo setor de rochas ornamentais, principalmente as exóticas (material movimentado), vem mobilizando o setor de forma positiva há pelo menos dez anos atrás (CHIODI FILHO, 2003).

Desde então, muitas empresas, inclusive de capital estrangeiro, se instalaram nas mais variadas regiões do Brasil, geralmente em função de dois fatores principais: proximidade das jazidas produtoras ou da zona portuária.

Segundo CHIODI FILHO (2004) os 18 arranjos produtivos locais (APL's) do setor de rochas, identificados no Brasil, envolvem atividades minero - industriais em 10 estados e 80 municípios, nas Regiões Sudeste, Sul, Centro-oeste, Norte e Nordeste.

Neste panorama produtivo industrial é impossível não mencionar a atuação do estado do Espírito Santo (Tabela 1), como região impulsionadora de crescimento do setor de exploração e beneficiamento de rochas ornamentais, bem como do crescimento das exportações brasileiras no setor. Tal façanha talvez se deva ao enorme parque mínero-industrial que há anos atrás vem se desenvolvendo e procurando alternativas para agregar valor às rochas extraídas das diversas regiões do Espírito Santo (ES) (AFEB, 2004).

As empresas do APL de Cachoeiro de Itapemirim, de claro perfil familiar, cresceram exportando blocos de mármore e granitos e imprimiram investimentos em técnicas de corte, polimento e outros acabamentos possíveis e solicitados pela clientela.

Este parque industrial cachoeirense, hoje com mais de 700 empresas do setor, sem dúvida, é o principal responsável pelo enorme crescimento registrado nos últimos seis anos. Contudo, já há alguns anos, uma outra cidade capixaba vem se destacando pela grande concentração de empresas de extrativismo e produtividade de blocos brutos de rochas ornamentais, representando crescimento substancial na produtividade do setor, Nova Venécia, é considerada hoje como o pólo capixaba do granito no norte do ES (CHIODI FILHO, 2008).

Tabelas 1 - Principais Estados Exportadores de Rochas Ornamentais no Brasil

Estado	Valor Exportado Milhões (US\$)	Perfil do Faturamento		Participação Brasil (%)	Variação 2007/2006 (%)
		Rochas Brutas (%)	Rochas processadas (%)		
Espírito Santo	726,1	13,9	86,1	64,4	6,0
Minas Gerais	211,3	25,1	74,9	19,3	13,0
Rio de Janeiro	33,8	0,2	99,8	3,1	- 18,2
Bahia	19,0	91,1	8,9	1,7	-31,9
São Paulo	25,8	25,2	95	2,4	4,2
Ceará	11,2	11,2	75,9	1,0	- 10,8
Paraíba	9,9	48,1	51,9	0,9	9,7
Total	1.037,10	-	-	94,8	-

Fonte: CHIODI FILHO, 2004

A extração brasileira de rochas totaliza 5,2 milhões de toneladas/ano. Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia respondem por 80% da produção nacional. O estado do Espírito Santo é o principal produtor, com 47% do total brasileiro. O estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor e responde pela maior diversidade de rochas extraídas (PEITER; CHIODI FILHO, 2007). Além disso, o estado do Espírito Santo, em 2003, respondeu por quase 70% das exportações brasileiras de rochas ornamentais (Tabela 1), detendo um bom desempenho até o ano de 2007, quando fechou as exportações em alta, mesmo considerando que este crescimento tenha ocorrido em taxas inferiores a períodos anteriores (Figura 1).

Não se pode ignorar o fato de que o potencial produtor de estados de maior espaço territorial, como Bahia (BA) e Minas Gerais (MG), seja possivelmente mais elevado do que o Espírito Santo (ES), mas a infra-estrutura existente nesse último tem, incontestavelmente, elevado o fluxo de blocos rochosos, principalmente destes estados produtores para o APL do sul do ES (centralizada em Cachoeiro de Itapemirim) e também para Nova Venécia, ao norte, passando por um processo industrial cada vez mais sofisticado de beneficiamento. Isso tem contribuído ainda mais para ratificar o ES (Tabela 1), como o pólo industrial de rochas ornamentais (Figura 1), mais importante do Brasil (AFEB, 2004).

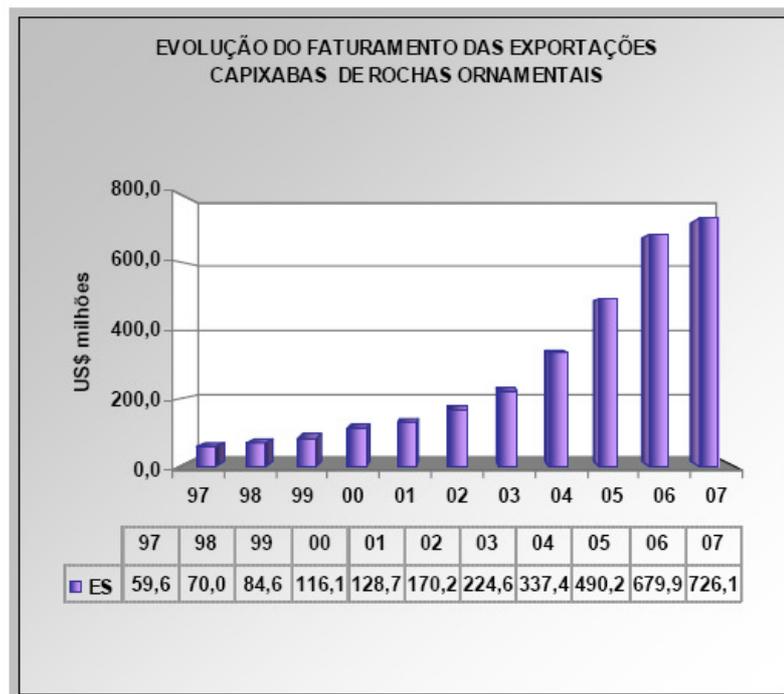


Figura 1 – Avaliação das exportações capixabas no setor de rochas ornamentais.  
Fonte: ABIROCHAS, 2007.

As rochas ornamentais e de revestimento abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Como materiais dimensionais, portanto aproveitadas em volume, as rochas ornamentais e de revestimento têm valor comercial significativo frente a outras matérias-primas minerais, pois são caracterizadas como “Specialtyties”, ou seja, bens que não possuem órgão regulador ou de cotação mercadológicos, sendo cotados exclusivamente em função da lei da oferta e da procura de mercado, bem como pela estética. O quadro comparativo do seu valor em peso com relação aos minérios de ferro e ouro (Tabela 2), que constituem “commodities” minerais bastante conhecidos e importantes na pauta brasileira de produção e exportação, permite ilustrar essa questão (CHIODI FILHO, 2003).

A média dos preços internacionais para blocos de mármore e granitos tem se situado entre US\$ 400 e 1.200/m<sup>3</sup>, enquanto que o preço médio do material beneficiado varia de US\$ 30 a 60/m<sup>2</sup> (PEITER; CHIODI FILHO, 2001). Considerando-se dados do Anexo 2, referentes ao número médio de placas geradas em torno de 70, na serragem de um bloco rochoso, fica claro que as exportações de

materiais primários (blocos rochosos) não agrega tanto valor à rocha ornamental quanto na comercialização de materiais processados.

O padrão cromático continua sendo o principal atributo para qualificação comercial de uma rocha; nesse aspecto a exportação de blocos brutos também deixa a desejar, pois dependendo do atributo estético (exclusivo) exposto após o beneficiamento, as placas semi-acabadas podem alcançar valores ainda mais elevados. Como materiais dimensionais, portanto aproveitados em volume, as rochas ornamentais e de revestimento (*specialties*) têm valor comercial muito significativo frente a outras matérias primas minerais (CHIODI FILHO, 2004). A Tabela 2 compara valores médios em peso relativamente aos minérios de ferro e ouro, que constituem *commodities* minerais bastante conhecidos e importantes na pauta brasileira de produção e exportação.

Tabela 2 – Comparação entre valores médios de mercado

<b>Ferro (1)</b>	<b>Ouro (2)</b>	<b>Rochas Ornamentais (3)</b>
US\$ 22/ tonelada	US\$ 93/ tonelada	US\$ 185/ tonelada

(1) Valor base do minério: US\$ 22/ tonelada

(2) Valor base de US\$ 9,3/g, em minério com teor de 10g/t

(3) Valor médio de US\$ 500/m<sup>3</sup> no mercado internacional

Fonte: CHIODI FILHO, 2001

A participação brasileira no mercado internacional de rochas processadas é ainda limitada e está bastante aquém da posição da China e Índia, nossos principais concorrentes entre os países emergentes (Figura 2). Observou-se uma queda acentuada de participação da Itália com o comércio de rochas processadas, sobretudo devido ao crescimento da Índia e particularmente da China no mercado asiático, ao longo da década de 90 (CHIODI FILHO, 2002).

É importante frisar que nem todas as empresas do setor se fizeram presentes nestas estatísticas, pois existe um número considerável de empresas clandestinas e ainda há falha de comunicação entre as diversas entidades representativas, que atuam no setor de rochas ornamentais no Brasil.

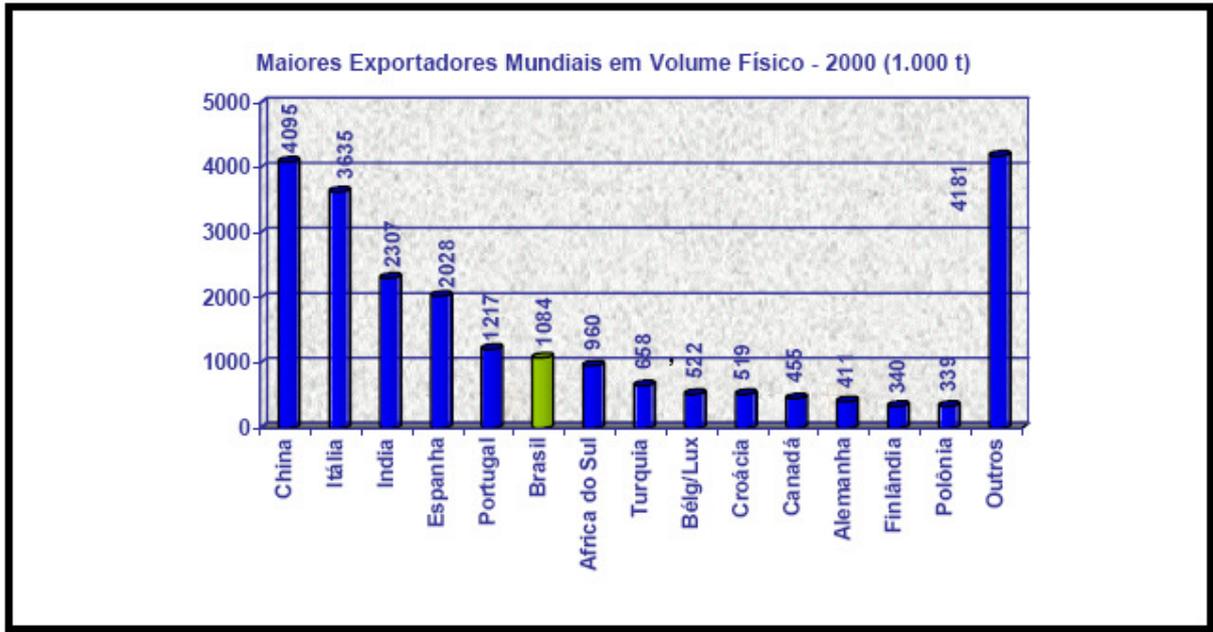


Figura 2 – Comparação dos volumes comercializados de rochas ornamentais no mundo.  
Fonte: MONTANI, 2001.

Atualmente o segmento de rochas ornamentais representa um dos mais importantes e significativos da economia do ES, colocando no mercado mais de 100 tipos comerciais de produto, variando desde as rochas calcárias suscetíveis ao polimento, principalmente mármore, até as silicáticas, com nomenclatura genérica de granito. O Estado abriga todas as atividades de apoio, como, fabricantes e fornecedores de máquinas, equipamentos e outros insumos industriais e prestadores de serviço, porém, carece de uma boa malha ferroviária, como todo o resto do Brasil, para escoar a produção de rochas ornamentais e minerais industriais de forma mais adequada (CARANASSIOS, 2001).

### 2.3 – A Importância da Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais

A determinação das “veias” (ou “corrida”) da rocha para seu desmonte; a constatação de que granitos amarelados (uma cor de intemperismo) eram mais frágeis e porosos; que cristais de pirita e magnetita em ardósias levam ao desenvolvimento de manchas ferruginosas nestas rochas após alguns anos de utilização como revestimentos externos são alguns dos exemplos clássicos que evidenciam a importância da caracterização tecnológica de rochas e pedras

ornamentais. Ao contrário do que se vê em alguns escritos científicos, a caracterização tecnológica de materiais minerais e rochosos passa pela necessidade de atribuir características não somente físico-mecânicas aos mesmos, mas químicas, mineralógicas, geológicas e até biológicas se assim for necessário e possível (ARTUR; MEYER; WERNICK, 2002).

Por mais que uma rocha pareça “homogênea” quimicamente, ela poderá apresentar propriedades físicas diferentes em determinadas porções da sua estrutura, formação cristalina, dependendo das suas condições de formação (profundidade, pressão, velocidade de resfriamento, intemperismo, entre outras) e vice-versa (SOSSAI, 2006).

Estudos do arranjo cristalino, das interações físico-químicas dos minerais presentes num determinado corpo rochoso, características químicas, associados a parâmetros ambientais externos são fundamentais para estimativa de aplicações mais adequadas dos diversos tipos comerciais de rochas existentes no mercado.

Não é de hoje que pessoas desinformadas ou equivocadas utilizam mármore e granitos em diversos ambientes em situações depreciativas ou sujeitos impactos físico-químicos permanentes, que podem determinar a queda do valor estético de um determinado ambiente ou peça que o compõe.

No Brasil, o estudo de rochas ornamentais começou a se difundir após a necessidade de agregar valor à matéria prima exportada e principalmente, devido às exigências do mercado externo. Atualmente, o mercado interno também necessita de informações mais detalhadas das características das rochas utilizadas como material de construção, não se atendo apenas às características estéticas (SOSSAI, 2006).

Além do custo tecnológico que deve ser incorporado aos valores praticados de mercado, outras demandas, como a ambiental deveriam também ser incorporadas ao custo de produção, na medida em que fossem aplicadas no processo produtivo. Como a maioria das empresas do setor de rochas ornamentais não aplica a gestão ambiental em seus processos industriais, temos um enorme passivo ambiental acumulado, conforme poderemos ver mais adiante.

O conhecimento das propriedades físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas utilizadas como revestimento são fatores técnicos que

afetam no preço do produto nas opções de uso e na valorização do material. O valor comercial da rocha é consequência direta das características técnicas da rocha ornamental, pois envolve custos de produção, interação rocha-ambiente e utilização de mão-de-obra técnica especializada, dentre outras variáveis. A utilização mais adequada para uma dada rocha deve ser aquela que apresente o valor técnico, estético e custo-benefício mais adequado (MOURA, et al., 2002).

A produção e o consumo de rochas ornamentais no Brasil apresentaram crescimento notável na última década, sendo utilizadas amplamente para revestimento externo de prédios, pisos, paredes, mesas, pias, etc, principalmente no mercado norte-americano. Nesse sentido, destaca-se a importância da classe dos granitos, que são consideradas as rochas ornamentais comercialmente mais duráveis, visto que, além de possuírem beleza visual, são mais resistentes (inclusive a ataques químicos e desgaste abrasivo), não perdendo o brilho de polimento durante longos anos (VILASCHI FILHO; PINTO, 2000).

A determinação das características mais importantes obriga a realização de estudos e ensaios técnicos específicos, de modo a definir a qualidade, a durabilidade, resistência a intempéries, a composição química e a possível interação estabelecida entre a rocha e o ambiente da vizinhança e por consequência a finalidade mais adequada, em termos de aplicação (CIMINELLI, apud CETEM, 2007, p. 175).

Algumas das principais características (Tabela 3) são intimamente ligadas à textura e à estrutura da rocha, em particular com a dimensão média dos grãos, o que influencia na resistência, na porosidade e na alterabilidade, entre outras. Do mesmo modo, o estado de alteração dos constituintes, vai condicionar fortemente a aptidão de cada rocha ao polimento, e determinar a durabilidade (SOSSAI, 2006).

O melhoramento dessas importantes etapas da cadeia produtiva das rochas ornamentais está intimamente ligado a determinação das características tecnológicas das rochas clássicas que fazem parte do fluxo comercial brasileiro.

A caracterização tecnológica auxilia na escolha correta de uma rocha para uma determinada finalidade. Os principais ensaios que fazem parte dessa caracterização são: análise petrográfica, índices físicos, resistência ao impacto, resistência a flexão, módulo de deformabilidade estático, resistência à compressão uniaxial, desgaste

Amsler, dilatação térmica linear e a alterabilidade (SANDRINI; CARANASSIOS, 2003).

A partir de exames macro e microscópicos, identifica-se a natureza ou o tipo de rocha, os minerais presentes, as interrelações, o grau de alteração, o estado microfissural dos cristais, sua granulação e textura, além de outras características que influenciam na durabilidade da rocha. Também são passíveis de avaliação através deste ensaio, a saber, análise petrográfica (Tabela 3), a reconstituição histórica e as possíveis condições físico-químicas atuantes na época de sua formação (VIDAL, 1999).

Os índices físicos (Tabela 3) representam a densidade (ou massa específica), a porosidade e a absorção de água. Um elevado índice de porosidade implicará em baixas resistências mecânicas e alta absorção de água e, portanto, uma baixa durabilidade (VIDAL, 1999). A resistência a compressão uniaxial visa determinar a capacidade de uma rocha suportar forças compressivas. Elevados índices de resistência à compressão implicam geralmente em baixa porosidade e alto índice de flexão (SANDRINI; CARANASSIOS, 2003).

A resistência ao impacto de corpo duro (Tabela 3) possibilita a obtenção de informações referentes ao grau de tenacidade de um material rochoso ou sua capacidade de suportar ações mecânicas instantâneas. Está relacionada ao arranjo mineral e a própria estrutura rochosa. A medida da tenacidade é normalmente obtida pelo impacto de uma esfera de aço de 1 kg que, em queda quase livre, com altura inicial de 20 cm acrescida sucessivamente de 5cm, seja capaz de romper uma placa de tamanho normalizado (VIDAL, 1999).

A resistência à flexão (Tabela 3) tem como objetivo determinar a tensão que provoca a cisão da rocha quando submetida a esforços conjuntos de compressão e tração. Esse é um dos ensaios mais importantes e necessários para revestimentos externos de fachadas com rochas ornamentais, especialmente rochas silicáticas. O granito é duro e pouco flexível, e, quando atinge sua capacidade máxima de carga, ele se rompe inesperadamente. As rochas de origens graníticas com granulações maiores apresentam uma tendência a uma flexão menor do que as rochas de granulação mais fina (VIDAL, 1999).

O ensaio de deformabilidade estática (Tabela 3) avalia a capacidade de uma rocha se deformar mediante esforços estáticos e compressivos, retornando ao estado original quando as forças deixam de atuar. É obtido através da compressão uniaxial em que se submete corpos de prova a cerca de 50 a 75% da tensão que provocaria a ruptura dos mesmos. Enquanto isso, a deformidade dos corpos é avaliada por instrumentação própria, estabelecendo-se o módulo de deformabilidade como a relação entre as tensões e as deformações obtidas (VIDAL, 1999).

Já o desgaste Amsler (Tabela 3), simula a abrasão que ocorre em pisos revestidos com rochas ornamentais. Essa resistência está intimamente relacionada à dureza de seus constituintes minerais e a sua compacidade (VIDAL, 1999). Este ensaio é realizado numa máquina “Amsler”, que contém uma pista circular com dois corpos de prova fixados, submetidos ao desgaste por uma areia quartzosa. A média de redução dos corpos de prova, após percurso circular de 1000 m representa o “Desgaste Amsler” (VIDAL, 1999).

O ensaio de dilatação térmica linear (Tabela 3) está fundamentado na variação de volume da rocha quando submetida a variações de temperatura, podendo dilatar ou contrair. Embora tridimensional, essa dilatação é avaliada pela alteração linear e expressa na forma de um coeficiente. Para pisos externos, se houver um subdimensionamento da deformação resultante da exposição do material ao calor intenso pode ocasionar deslocamento ou deformação do mesmo (SANDRINI; CARANASSIOS, 2003).

A alterabilidade (Tabela 3) é o parâmetro mais importante para a qualificação da rocha, em relação a sua utilização para piso ou revestimento. Neste ensaio, a rocha pode ser submetida à ciclagem artificial, resistência a ataques químicos (produtos de limpeza) e alterações quando submetida a extratores Soxhlet (solventes químicos em reciclagem). Esse ensaio prevê a possibilidade de ocorrência de alterações de coloração, apresentar manchas, deslocamentos e apresentar materiais pulveréos em sua superfície (VIDAL, 1999).

Existem vários ensaios que corroboram para uma caracterização tecnológica ainda mais detalhada das rochas ornamentais, que em sua grande maioria, são resultantes de cobranças de qualidade feitas pelo mercado consumidor, cada vez mais exigente. Contudo, neste trabalho, é suficiente apenas a noção superficial de

como são realizados e qual a finalidade dos ensaios considerados mais importantes. Para efeito de informação, são mostrados na Tabela 3, os ensaios recomendados em cada fase em que a rocha ornamental se apresentar, para fins de adequação às devidas funcionalidades.

Tabela 3 - Ensaio Físico-mecânicos para Caracterização de Fases de Produção de Granitos e Mármore

<b>Ensaio</b>	<b>Análise Petrográfica</b>	<b>Índices Físicos</b>	<b>Resistência ao desgaste</b>	<b>Resistência ao impacto</b>	<b>Resistência compressão uniaxial</b>	<b>Resistência à flexão</b>	<b>Módulo de deformabilidade estático</b>	<b>Dilatação térmica linear</b>	<b>Alterabilidade</b>
<b>Fases do Produto</b>									
<b>Extração</b>	X	X	X	X					
<b>Beneficiamento</b>	X	X	X	X	x	X	x	X	X
<b>Revestimento externo</b>	X	X	X			X		X	X
<b>Revestimento interno</b>	x	x	x			X		X	
<b>Pisos</b>	X	X	X	X	x	X	X	X	X
<b>Colunas e Pilares</b>	X	X			X	x	X	X	X
<b>Pedestais</b>	x	x			X		X		X
<b>Tampas de mesa e balcões</b>	X	X	X	X	X	x	X	X	X
<b>Pias</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Soleiras</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Esculturas</b>	X	X	X						X
<b>Cilindros p/ ind. papel (granito)</b>	X	X	X	X	X	x	X	X	X
<b>Mesas/aparelhos de desempenho</b>	x	X	X	X	x	x	x	x	X

Fonte: IPT, 1993

## 2.4 - Aspectos Básicos da Geologia de Rocha

As rochas são classificadas de acordo com os processos naturais geológicos a que são expostas até os dias atuais.

### 2.4.1 - Rochas Magmáticas ou Ígneas

Originam-se na consolidação de extravasamentos de magma e, portanto, são de origem primária. Quando este magma solidifica a vários quilômetros de profundidade, formam-se as denominadas rochas intrusivas, plutônicas ou ainda abissais. Certamente o resfriamento é lento, havendo tempo suficiente para originar uma textura equigranular fanerítica<sup>1</sup>. Um bom exemplo desse tipo rochoso são as rochas graníticas (LEINZ; AMARAL, 2003).

Já quando este mesmo magma extravasa na superfície terrestre temos a formação de rochas extrusivas, vulcânicas ou efusivas. O pouco tempo para solidificação dá origem a uma estrutura vítrea, como a ocorrência de pequeníssimos cristais esparsos pela massa vítrea. Teremos então uma estrutura porfirídica (microlítico e granular) (POPP, 1988).

Em certos casos a consolidação se dá com intenso desprendimento gasoso, originando bolhas, resultando uma estrutura vesicular ou esponjosa (NEVES; SCHENATO; BACHI, 2008).

A granulação das rochas magmáticas é muito variável, podendo ter desde decímetros até milímetros de tamanho. O granito é a rocha magmática mais comum de todas, que está presente em grande parte do território brasileiro (LEINZ; AMARAL, 2003).

As rochas ígneas, originadas no resfriamento do magma<sup>2</sup> têm composição silicática, com seus principais componentes sendo oxigênio (O) e Silício (Si). Há ainda, presentes nos magmas silicatados, os componentes Fe, Ca, Mg, Na, K, Al e Ti, que compõem grande parte da composição da rocha, e, por isso, são tratados como elementos principais, e outras substâncias, como P e Mn, que são conhecidos como traços (SIAL; McREATH, 1984).

---

<sup>1</sup> Do grego “phaneros”: visível, aparente.

<sup>2</sup> Magma: rocha fundida, lava vulcânica.

## 2.4.2 - Rochas Sedimentares

São originários da ação do intemperismo em qualquer tipo de rocha, originando a partes dos sedimentos resultantes. Apresentam em grande parte de forma estratificada. Os sedimentos são clásticos ou mecânicos quando formados de fragmentos de rochas pré-existentes. São químicos aqueles originados precipitações por queda de solubilidade ou perdas por evaporação. São considerados orgânicos, quando formados pelo acúmulo de restos de organismos vivos (LEINZ; AMARAL, 2003).

O calcário e o dolomito são exemplos de rochas clásticas<sup>3</sup> e orgânicas ao mesmo tempo (NEVES; SCHENATO; BACHI, 2008).

## 2.4.3 - Rochas Metamórficas

Rochas que passam a ter uma nova composição mineralógica, com o aparecimento de novas características de ordem estrutural e textural, sem ocorrência de mudança de estado físico, ou seja, a rocha não passa por uma fase de fusão, são denominadas metamórficas e o fenômeno que origina tais transformações é conhecido como metamorfismo (POPP, 1988).

Ainda segundo Popp (1988), existem dois tipos principais de metamorfismo: o regional e o de contato. O primeiro ocorre em regiões de intenso tectonismo (Figura 3) e o segundo, desenvolve-se ao redor de corpos ígneos intrusivos (como batólitos), que cedem parte de sua energia térmica às rochas vizinhas encaixantes (Figura 4).

Outra constatação importante é que, segundo SIAL e McREATH (1984), uma boa parte das rochas ígneas expostas à superfície da Terra sofreu efeitos de metamorfismo ou metassomatismo (metamorfismo causado pela adição ou subtração de componentes químicos das rochas ou minerais pré-existentes).

No caso dos mármore e quartzitos, o sedimento original, segundo Popp (1988), é formado por minerais com pouca tendência ao desenvolvimento de formas lamelares

---

<sup>3</sup> Formadas a partir da desagregação de rochas pré-existentes. A composição destes sedimentos reflete os processos de intemperismo e a geologia da área da fonte. Ex. arenitos.

por cristalização, ou então o metamorfismo se dá sem pressão e orientadas (de contato), formando estruturas granulares.

No caso dos gnaisses (material movimentado), ainda de acordo com LEINZ e AMARAL (2003), estruturas xistosas (geralmente faixas de minerais micácios escuros) e estruturas granulares (faixas ou lentes de quartzo e feldspato) se alternam (Tabela 3).

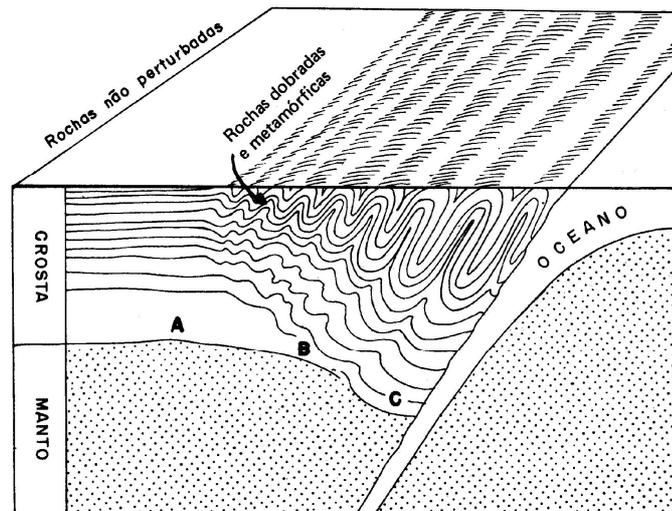


Figura 3 - Metamorfismo regional em área da costa instável sujeita a fortes compressões. A intensidade do metamorfismo decresce nas rochas no sentido de (C) para (A). Fonte: Popp, 1988.

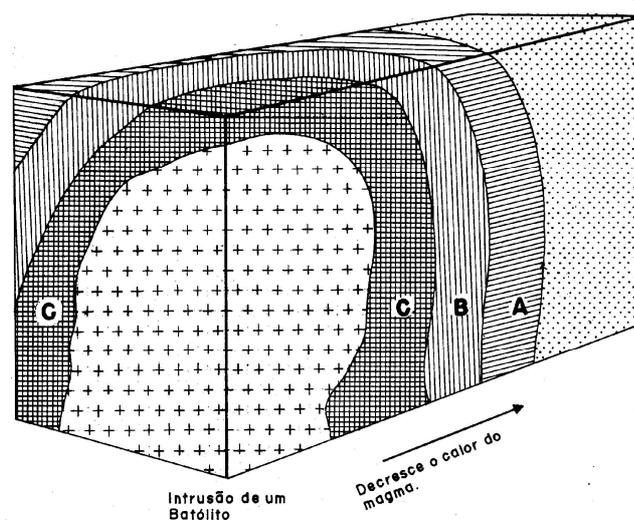


Figura 4- Metamorfismo de contato provocado pela intrusão de um batólito\*. As rochas sofrem diferentes graus de metamorfismo, sendo muito alto em (C), médio em (B) e baixo em (A). Fonte: Popp, 1988.

\* Grandes injecções maciças de material magmático que aparecem através de fendas da crosta (Guerra, 1993).

#### 2.4.4 - Aspectos Geológicos do Espírito Santo

O estado do Espírito Santo possui uma geologia muito diversificada, que vai desde os terrenos mais antigos do Pré-cambriano, até coberturas atuais (IPT, 1993).

As rochas mais antigas, arqueanas, pertencem ao Complexo Juiz de Fora, constituído por granulitos, charnockitos e enderbitos (Figura 6). Os biotita gnaisses kingizitos, calciossilicáticas, quartzitos e mármore, mais novos, do proterozóico, bem como os mármore de Cachoeiro de Itapemirim, amplamente utilizados como rochas ornamentais, estão incluídos no Complexo Paraíba do Sul, região com grande variedade biológica endêmica (Figura 6). Outras unidades importantes do Espírito Santo se devem aos gnaisses graníticos e granitóides. Esses litotipos vão materializar os ortognaisses Estrela e Colatina e os Complexos Medina e Montanha são representados por ortognaisses porfiróides, granitóides granatíferos e augengnaisses (Figura 6). Contudo, os principais fornecedores de rochas ornamentais graníticas deste Estado são os maciços de idade mais jovem, brasileiros, compostos por granitos, charnokitos e gabros (IPT, 1993).

Os principais maciços graníticos do Espírito Santo (ES), segundo (IPT, 1993), são: Santa Angélica, Garrafão, Várzea Alegre, Ibituba, Afonso Cláudio, Castelo, Itapina, Alfredo Chaves, Iconha, Rio Novo do Sul, Alto Chapéu, Venda Nova, Linda Aurora, Palmital e Arecê (Figura 6).

A região norte do Estado tem se destacado nos últimos anos pela extração de granitos de tonalidade amarela (Figura 7), sendo importante pólo de concentração de jazidas, centrado no município de Nova Venécia.

Toda a produção rochas carbonáticas do estado do Espírito Santo provém de Cachoeiro de Itapemirim, Castelo e Vargem Alta (Figura 7). Estas rochas intercalam-se em biotita-gnaisses, quartzitos e anfibolitos, que constituem uma lente com 15km de extensão e 3km de largura, bloqueando uma reserva geológica estimada em 2 bilhões de metros cúbicos. Essas rochas são de granulação média e grosseira, constituídas quase que totalmente calcita, dolomita, algum quartzo e acessórios, tais como: diopsídeo, tremolita, flogopita, siderita e muscovita (IPT, 1993).

Na região sul do ES, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo e Vargem Alta, destacam-se na extração de mármore e calcários endêmicos no Estado e por isso, importante base extrativa de sustentáculo dos setores industriais siderúrgico, cimentício e

correlatos. Por esse motivo e pela melhor qualidade do solo, no que se refere a fertilização, áreas de extratividade carbonática tendem a possuir vegetações endêmicas de grande importância biológica.

Além disso, a população de entorno de jazidas sofre grande impacto ambiental referente à geração de particulados, principalmente carbonáticos, pois as empresas da região não gerenciam adequadamente, nem as suas emissões atmosféricas industriais e muito menos as geradas em função da logística. A região demanda um meio de transporte mais adequado para o escoamento de produtos minerais (BOM DIA BRASIL, 2008).

Ainda na região centro-sul do Estado, há uma predominância de granitos de tonalidade cinza a preta (Figura 7), com grande potencial de beneficiamento centralizado em Cachoeiro de Itapemirim, sendo este um arranjo produtivo local (APL) de amplitude nacional, responsável pela grande produção capixaba no setor e grande capacidade exportadora (CETEM, 2004).

Curiosamente, muitos dos materiais que o mercado costumeiramente denomina de movimentado não são granitos e sim, migmatitos ou gnaisses granitizados (Figura 5) (Tabela 5) (POPP, 1988).

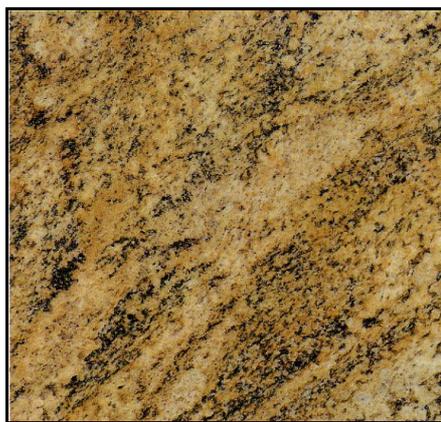


Figura 5- Rocha Amarelo Cachoeiro – biotita gnaisse granitizado. Fonte: IPT,1993

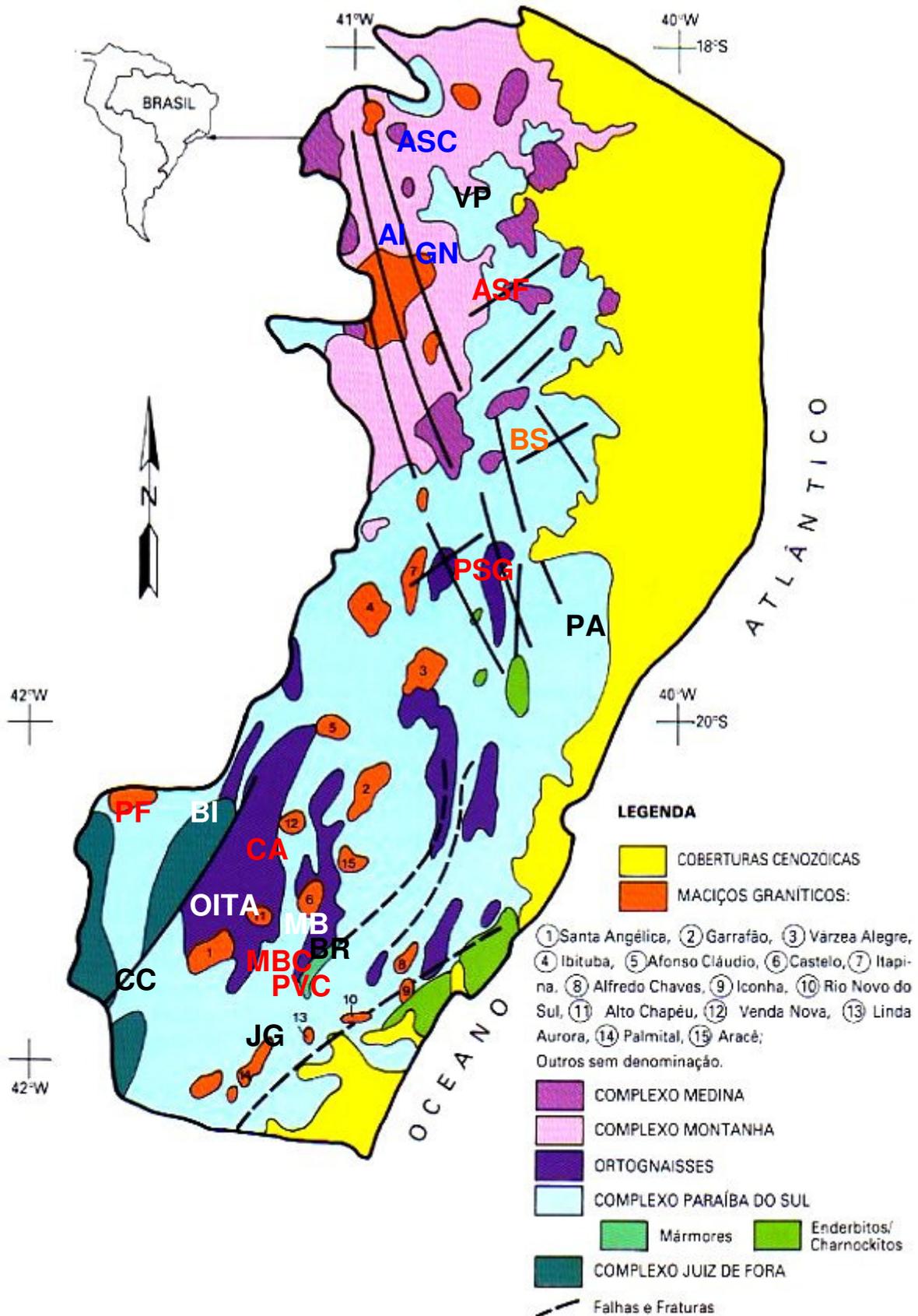


Figura 6 – Esboço geológico e magmatismo granítico do estado do Espírito Santo.  
Fonte: IPT, 1993.

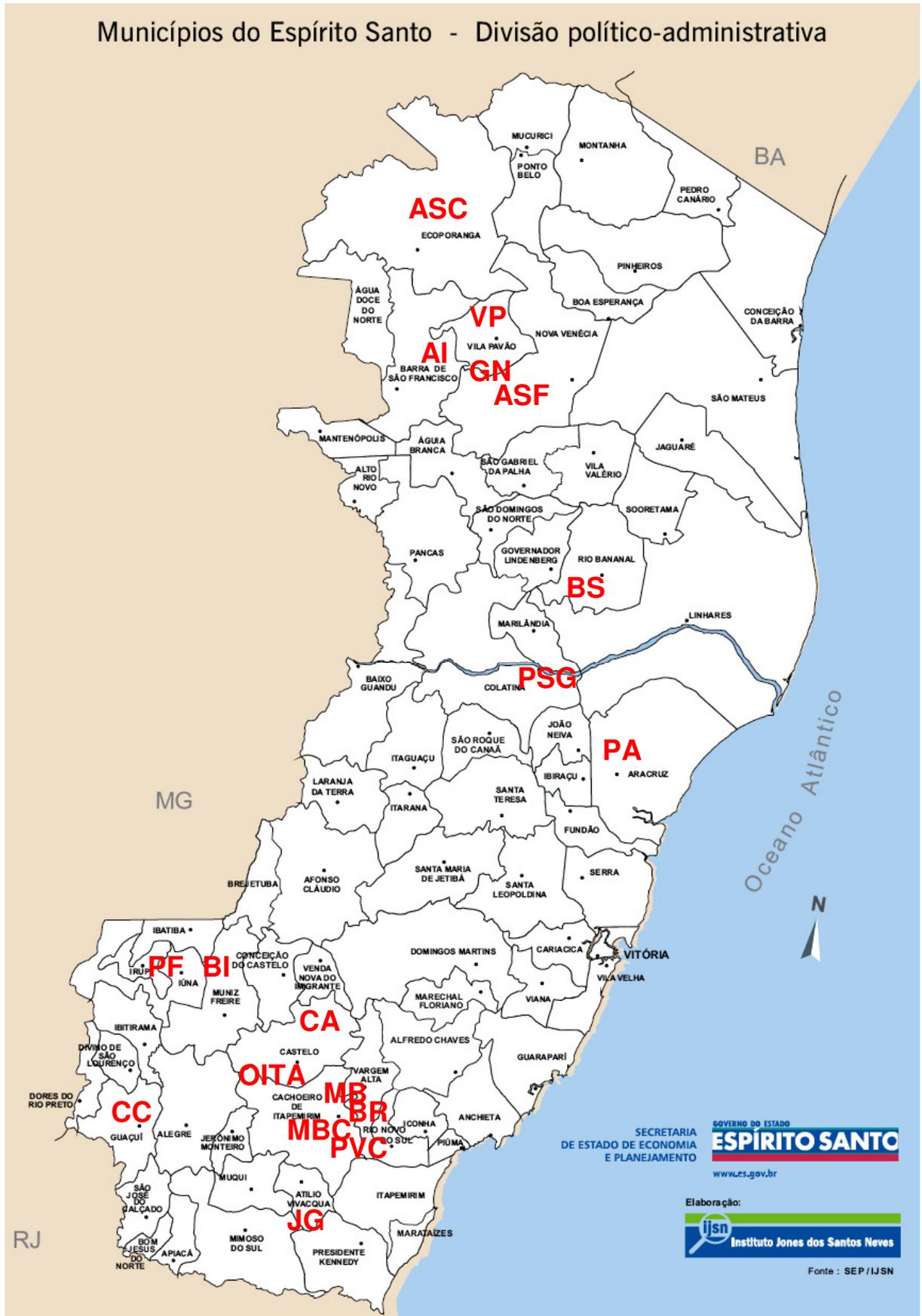


Figura 7 – Localização, no ES, das jazidas de extração das rochas estudadas, pelas siglas. Fonte: SEP/ IJSN, 2005

Tabela 4 – Identificação das Rochas cujos Resíduos de Corte serão Caracterizados

Sigla	Nome Comercial
AI	Amarelo Icarai
ASF	Amarelo São Francisco
ASC	Amarelo Santa Cecília
AG	Amarelo Golden
GN	Giallo Napoleone
BI	Beje Ipanema
CA	Cinza Andorinha
PA	Preto Aracruz
PSG	Preto São Gabriel
VP	Verde Pavão
PF	Preto Florido
OITA	Ocre Itabira
JG	Jade Green
CC	Cinza Corumbá
BS	Branco Siena
BR	Mármore Branco Rajado
PVC	Mármore Pinta Verde Claro
MBC	Mármore Branco Clássico
MB	Mármore Branco Comum

Ainda na Figura 6 (esboço do mapa geológico) é possível verificar e conflitar as possíveis localizações das jazidas das rochas estudadas (Tabela 5) com a característica geológica regional do ES; é possível verificar ao norte que várias rochas são extraídas de regiões de mesma caracterização geológica. A leste do referido mapa é possível notar que as rochas PSG e PA, certamente provenientes da mesma região geológica e, portanto, podem apresentar composições químico-mineralógicas semelhantes. Ao sul, verifica-se que a extração de mármore do ES, provém da única região carbonática, que abrange principalmente, os municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Vargem Alta.

Na Figura 7, como já citado, é possível verificar a localização das jazidas em função da divisão política capixaba.

Na Figura 8, apesar de não ser atual, possibilita uma visão generalizada do potencial de produção de rochas ornamentais concentrado no ES.

Nas Figuras 9 (a e b), têm-se a listagem completa de rochas cujos resíduos serão alvo de estudo neste trabalho.

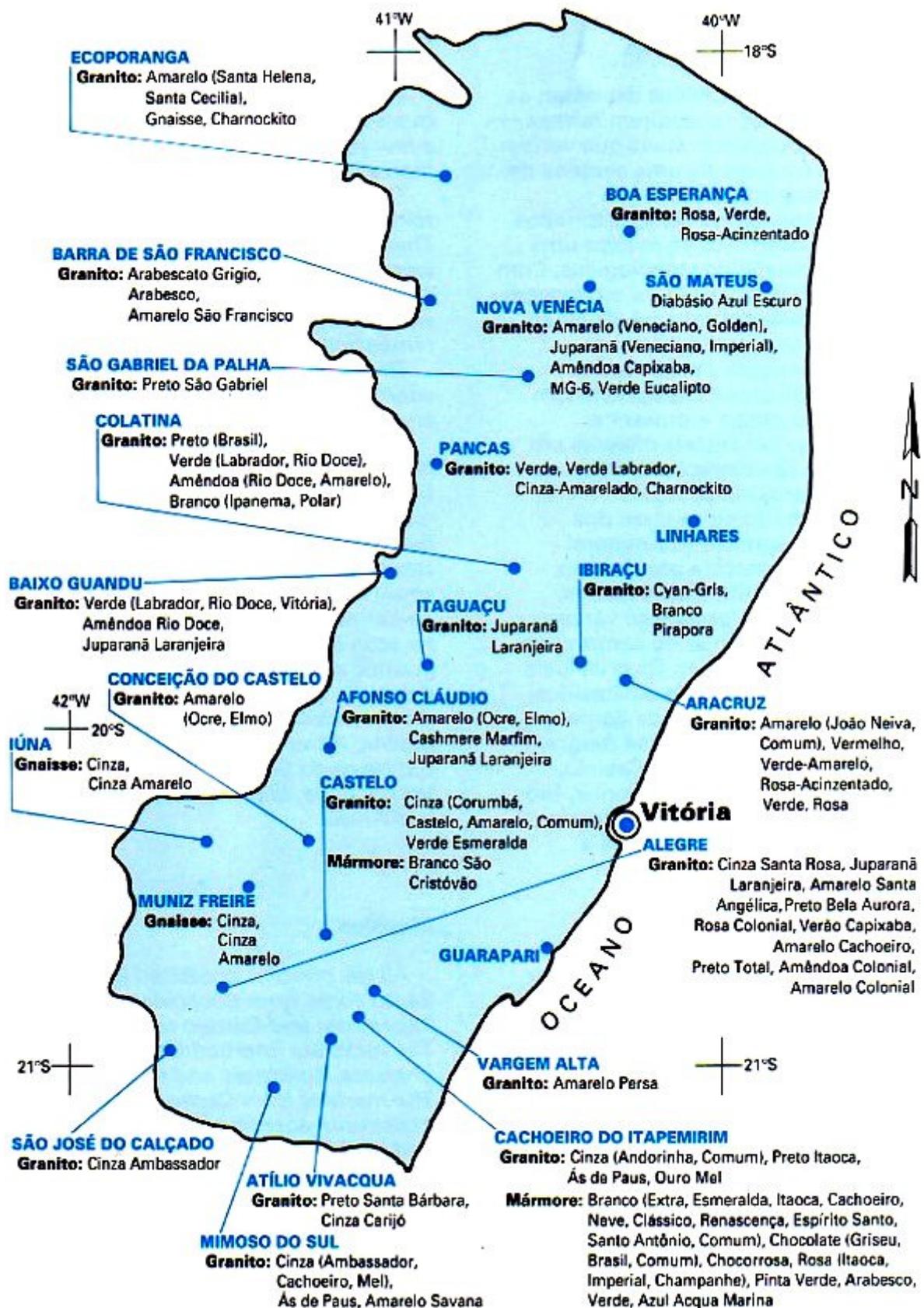


Figura 8 - Distribuição aproximada por municípios de jazidas de granitos e mármore ornamentais do Estado do Espírito Santo e respectivas nomenclaturas comerciais. Fonte: IPT, 1993.

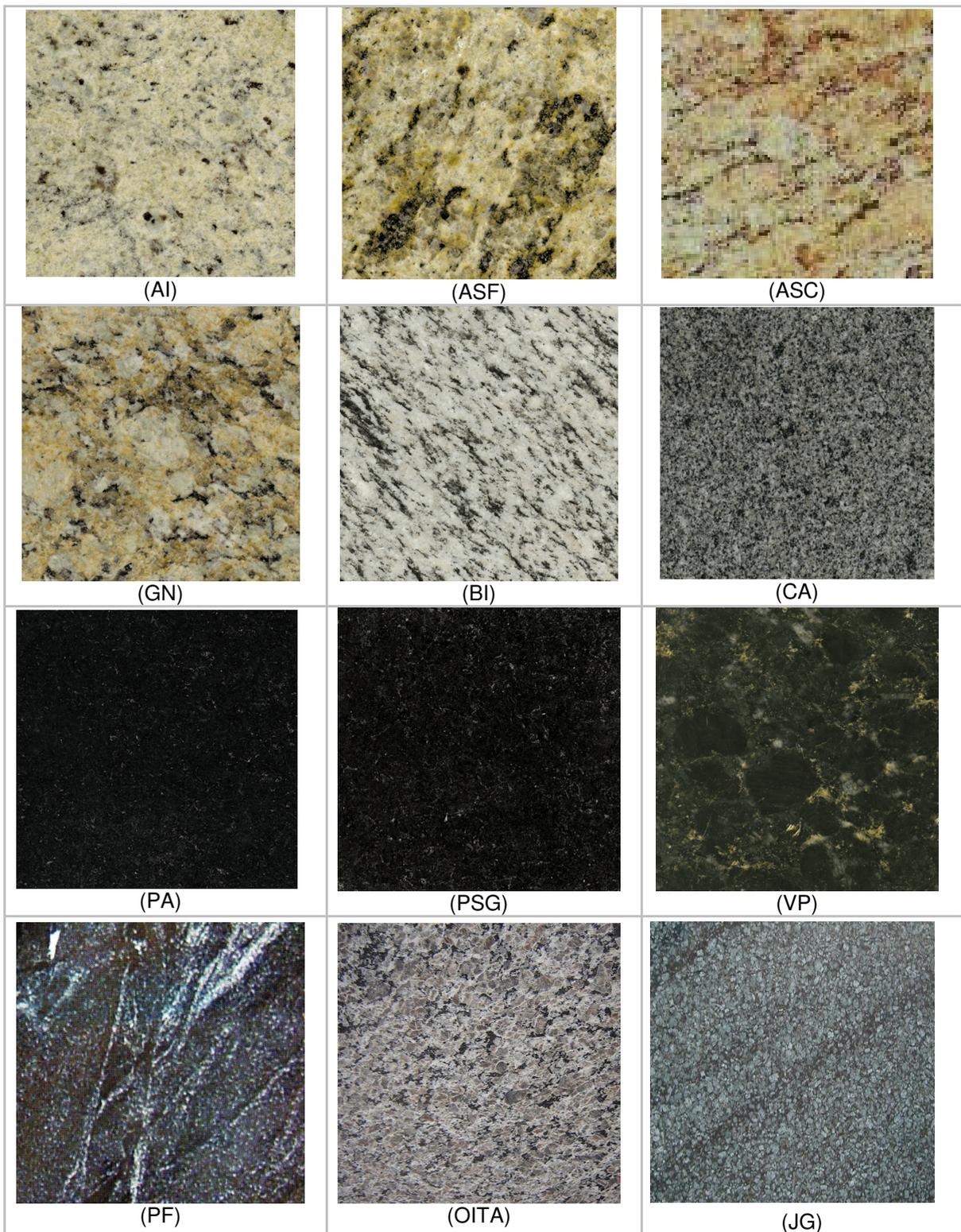


Figura 9.a - Rochas ornamentais e suas siglas alvo de investigação química no resíduo de serragem. Fonte: CETEM, 2005.

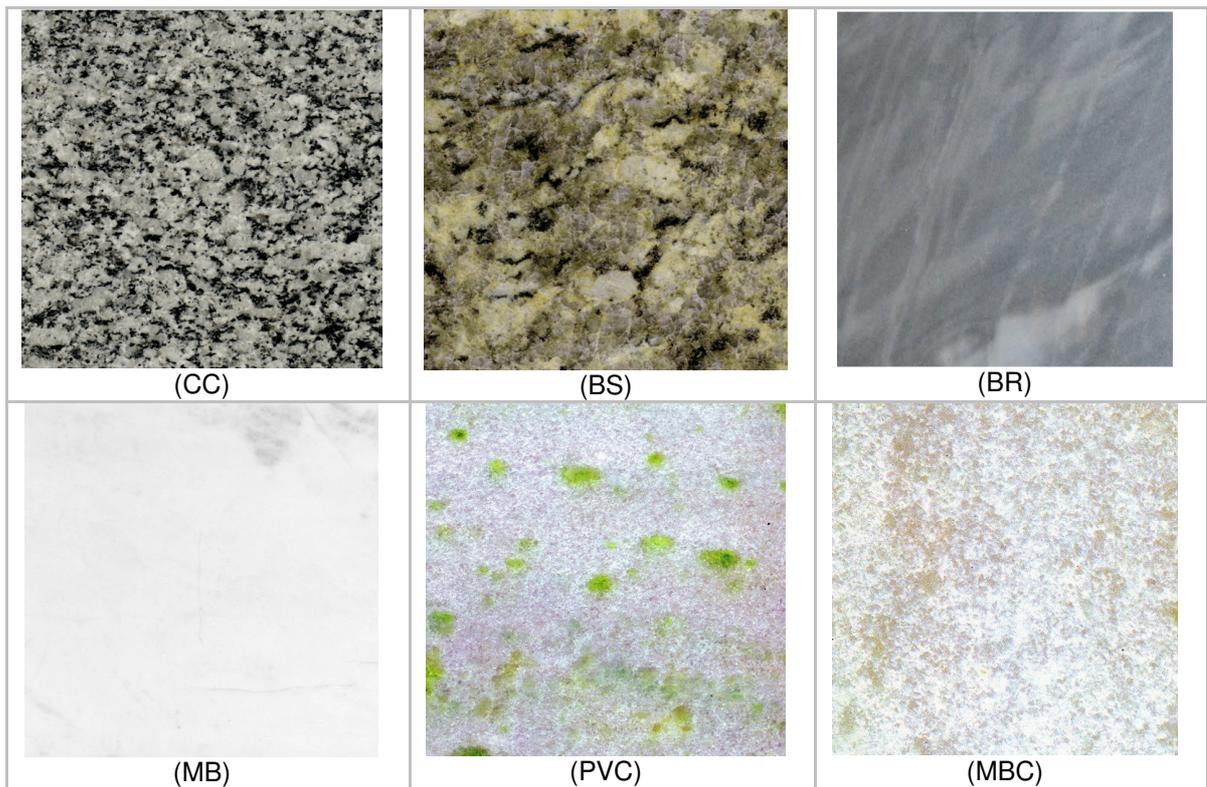


Figura 9.b – Continuação de rochas ornamentais alvo de investigação química no resíduo de serragem.  
Fonte: CETEM, 2005.

A identificação das siglas utilizadas na identificação dos resíduos (Tabela 12) se baseou nos nomes comerciais utilizados para as rochas serradas que lhes deram origem.

## 2.5 - Caracterização Mineralógica

De acordo com a composição química dos minerais majoritários presentes nas rochas, existe uma classificação genérica, comumente utilizada na referência de rochas ornamentais. Relativamente a essas rochas, dois grandes grupos serão largamente citados: as rochas silicáticas (ricas em minerais com forte presença de silicatos-SiO<sub>x</sub>) e as rochas carbonáticas (ricas em minerais carbonatados, principalmente dolomita e calcita).

### 2.5.a - Rochas Silicáticas

Para o setor de rochas ornamentais e de revestimento, o termo granito designa um amplo conjunto de rochas silicáticas, abrangendo monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, diabásios/basaltos e os próprios granitos (IPT, 1993). A composição mineralógica dos “granitos” é assim definida por associações muito variáveis de quartzo, feldspato, micas (biotita e muscovita), anfibólios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstênio) e olivina. Alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas. Quartzo, feldspatos, micas e anfibólios são os minerais dominantes nas rochas graníticas e granitóides (DANA, 1984).

Macroscopicamente, o quartzo é reconhecido como o mineral incolor ou fumê, geralmente translúcido, muito comum nos granitos, podendo-se também encontrá-lo na cor azulada em rochas específicas (CETEM, 2004). Os feldspatos (microclínio, ortoclásio e plagioclásios), são os principais balizadores do padrão cromático das rochas silicáticas, conferindo as colorações avermelhada, rosada e creme-acinzentada nos granitos homogêneos (isótopos) e orientados/movimentados (anisótopos) (DANA, 1984).

A cor negra variavelmente impregnada na matriz das rochas silicáticas, é conferida pelos minerais máficos (silicatos ferro-magnesianos), sobretudo anfibólio (hornblenda) e mica (biotita), chamados vulgarmente de “carvão” (NEVES; SCHENATO; BACHI, 2008).

Nos granitos mais leucocráticos (claros), portanto com menor quantidade de minerais ferro-magnesianos, o quartzo e o feldspato compõem normalmente entre 85% e 95% da rocha (DANA, 1984).

A textura das rochas silicáticas é determinada pela granulometria e hábito dos cristais, sendo a estrutura definida pela distribuição desses cristais. Composição, textura e estrutura representam assim parâmetros de muito interesse para caracterização de granitos e sua distinção dos mármore (UNESP, 2008).

### 2.5.b - Rochas Carbonáticas

As principais rochas carbonáticas abrangem calcários e dolomitos, sendo os mármore os seus correspondentes metamórficos. Os calcários são rochas sedimentares compostas principalmente de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), enquanto dolomitos são rochas também sedimentares formadas, sobretudo por dolomita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) (DANA, 1984).

Alguns outros minerais carbonáticos, notadamente a siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), ankerita ( $\text{Ca,MgFe}(\text{CO}_3)_4$ ) e a magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), estão freqüentemente associados com calcários e dolomitos, mas geralmente em pequenas proporções. Os mármore são caracterizados pela presença de minerais carbonáticos com graus variados de recristalização metamórfica (DANA, 1984).

Argilo-minerais (caulinita, illita, clorita, esmectita, etc.) e seus produtos metamórficos (sericita, muscovita, flogopita, biotita, tremolita, actinolita, diopsídio, etc.), constituem impurezas comuns tanto disseminadas quanto laminadas nas rochas carbonáticas (MILOVSKY; KONONOV; 1985).

Quartzo e sulfetos são acessórios freqüentes, como cristais isolados ou em disseminações na matriz. Matéria orgânica pode estar também finamente disseminada, conferindo cores marrons escuras e negras às rochas portadoras (MILOVSKY; KONONOV; 1985).

A maior parte das rochas carbonáticas têm origem biológica ou mais propriamente biodetrítica, formando-se em ambientes marinhos pela deposição de conchas e esqueletos de outros organismos (corais, briozoários, etc.). Essas conchas e

esqueletos são preservados como fósseis mais e menos fragmentados, perfeitamente reconhecíveis nas rochas pouco ou não metamorfizadas (POPP, 1988).

Processos deposicionais conduzidos por precipitação química e bioquímica direta de carbonatos em ambientes de água doce, determinam a formação de rochas não fossilíferas e bastante heterogêneas do tipo travertino e marga (NEVES; SCHENATO; BACHI, 2008).

Rochas carbonáticas representam assim materiais sedimentares e metassedimentares, constituídos por 50% ou mais dos minerais calcita e dolomita. Calcários, epicalcários e mármore calcíticos contêm calcita predominante, enquanto dolomitos, metadolomitos e mármore dolomíticos são rochas similares com predominância de dolomita. Impurezas comuns incluem argilas, quartzo, micas, anfibólios, matéria orgânica/grafitosa e sulfetos, caracterizando-se uma ampla variedade de cores, texturas, desenhos, cristalinidade e conteúdo fóssil (CETEM, 2004).

No setor de rochas ornamentais e de revestimento, o termo mármore é utilizado para designar todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não, capazes de receber polimento e lustro. O crescimento recente da participação relativa dos granitos foi, pelo menos em parte, determinado por sua maior durabilidade e resistência frente aos mármore, além dos padrões estéticos não tradicionais e possibilidades de paginação em pisos e fachadas (CHIODI FILHO, 2004).

## 2.6- Caracterização Mineralógica das Rochas em Estudo

Na Tabela 5, uma breve caracterização mineralógica dos materiais que foram analisados quimicamente nesta pesquisa, contemplando grande parte dos parâmetros inorgânicos que os compõem.

Tabela 5 - Composição Mineralógica / Caracterização Petrográfica

ROCHA	Origem	DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA
<b>Amarelo Santa Cecília</b>	Ecoporanga	Rocha com estrutura gnáissica e granulação média a muito grossa e de cor amarelo avermelhado claro	Biotita gnaisse monzogranítico com granada e siltimanita	34% de Feldspato potássico micropertítico 25% de Quartzo 20% de Plagioclásio 10% de Biotita 7% de Granada 4% de Acessórios
<b>Amarelo Icarai</b>	Entre Vila Pavão e Barra de São Francisco	Rocha Granítica, de granulação média e cor branco amarelado	Granada biotita gnaisse sienogranítico com siltimanita	45% de Microlina micropertítico 27% de Quartzo 10% de Biotita 8% de Plagioclásio 7% de Granada 3% de Acessórios
<b>Amarelo São Francisco</b>	Barra de São Francisco	Rocha com estrutura gnáissica e granulação média a fina e de cor amarela clara	Biotita Granada Gnaisse Granítico	40% Microclínio Micropertítico 25% Quartzo 20% Plagioclásio (Oligoclásio) 10 %Granada 5% Biotita
<b>Bege Ipanema</b>	Muniz Freire	Rocha com estrutura gnáissica orientada e bandada, com granulação fina a média/grossa e cor cinza muito claro	Gnaisse monzogranítico	35% de Microlina 30% de Plagioclásio (oligoclásio) 30% de Quartzo 5% de Biotita
<b>Ocre Itabira</b>	Cachoeiro de Itapemirim	Rocha Granítica, de granulação média a grossa e cor cinza com focos de marrom	ND	ND

ND- parâmetros não encontrados em fontes específicas.

Continuação da Tabela 5 - Composição Mineralógica / Caracterização Petrográfica

<b>ROCHA</b>	<b>ORIGEM</b>	<b>DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA</b>	<b>DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA</b>	<b>DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA</b>
<b>Mármore Branco Clássico</b>	Cachoeiro de Itapemirim	Rocha com estrutura maciça com granulação média a grossa	Calcita dolomita mármore	100% de Calcita + dolomita
<b>Mármore Pinta Verde Claro</b>	Vargem Alta	Rocha com estrutura maciça com granulação média a grossa	Calcita dolomita mármore	100% Dolomita + Calcita
<b>Preto Aracruz (Aracruz Black)</b>	Aracruz	Rocha estrutura maciça cor preta e granulação média	Bitotita norita	18% de Miicolina microperítico 17% de Biotita 5% de Acessórios 5% de Quartzo 55% de Plagioclásio (oligoclásio)
<b>Preto São Gabriel</b>	Colatina	Rocha de estrutura compacta com granulação média e cor cinza escura	Diorito norítico	60% de Plagioclásio (andesina – labradorita) 15% de Hiperstênio 15% de Biotita 5% de Hornblenda 5% de Quartzo
<b>Preto Florido</b>	lúna	Rocha com estrutura gnáissica e granulação média a fina e de cor preta com listras brancas	ND	ND
<b>Verde Pavão</b>	Vila Pavão	Rocha com estrutura maciça/fraturada, com granulação grossa e cor verde oliva escuro.	Charnockito com granada	35% de Plagioclásio (andesina) 25% de Feldspato alcalino microperítico 25% de Quartzo 5% de Hiperstênio 5% de Biotita 5% de Granada
<b>Cinza Andorinha</b>	Castelo	Rocha granítica com granulação grossa, cor cinza médio a claro.	Biotita monzogranito	33% de Microlina 23% de Plagioclásio 20% de Biotita 20% de Quartzo 5% Titanita

Fonte: IPT, 1993; CETEM, 2005. ND- parâmetros não encontrados em fontes específicas.

### 3 - Manufatura das Rochas Ornamentais

O processo industrial de beneficiamento de rochas ornamentais engloba desde a extração na jazida para obtenção de blocos rochosos (Figura 10) até o processo industrial imposto às mesmas, composto pela serragem e processos de polimento das rochas (VILLASCHI FILHO, 2000).

Etapas Produtivas		
Etapa Primária		Etapa Secundária
Extração (Pedreira ou Jazida)	Desdobramento (Serraria)	Beneficiamento (Marmoraria)

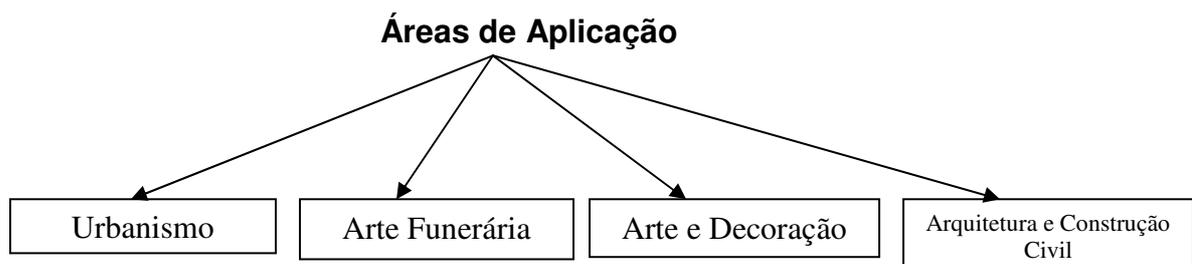
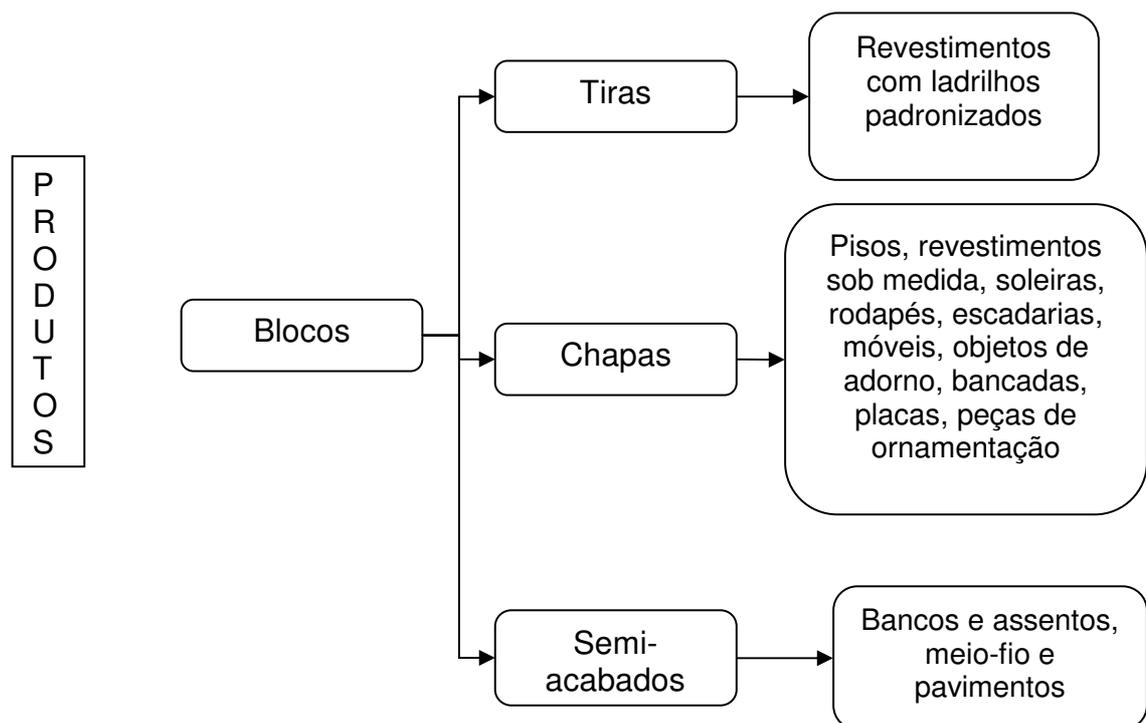


Figura 10 - Etapas produtivas e principais produtos da indústria de rochas ornamentais. Fonte: AFEB, 2004

Daremos ênfase ao processo de corte ou serragem dos blocos rochosos, pois a lama abrasiva resultante desta etapa será o alvo da caracterização proposta neste trabalho.

Assim, a manufatura pode ser subdividida em duas etapas, a etapa primária que envolve o beneficiamento de blocos de mármore ou granitos de diferentes tamanhos em chapas, de várias espessuras, conforme especificação do mercado e a etapa secundária de corte e acabamento, realizada parcialmente em marmorarias, conforme a Figura 10 (VILLASCHI FILHO, 2000).

O beneficiamento de blocos rochosos pode ser realizado em teares multilâminas convencional (Figura 13), corte com talha blocos ou corte com fio diamantado (PEREIRA, 2004).

Neste trabalho, a amostragem foi realizada em empresas que utilizam teares multilâminas de aço-carbono. O tear de multilâminas é o equipamento de corte de blocos mais antigo ainda no mercado e mais utilizado para produção de chapas. De acordo com Pontes (2005), este tear possui o menor custo de produção e a mais alta produtividade de chapas em grandes dimensões (1,0 a 2,0 m de largura e 2,0 a 3,5 m de comprimento), contudo, há uma considerável perda de matéria-prima e elevado consumo de granalha e cal, de acordo com o tipo de rocha desdobrado (GIACONI, 1998). Ainda há uma opção preferencial por esse processo de serragem de grande parte das empresas brasileiras, em função dos custos elevados que envolvem a adoção de novas tecnologias contempladas por lâminas ou fios diamantados, embora esses apresentem uma qualidade de serragem visivelmente superior e ambientalmente sejam bem menos impactantes.

O beneficiamento do mármore brasileiro é 95% feito em teares convencionais que usam granalha e o restante em teares diamantados e talha-blocos. Isto caracteriza um grande atraso tecnológico, visto que no mundo inteiro praticamente 100% do mármore é beneficiado em teares de lâminas diamantadas ou talha-blocos (ALENCAR, 1996).

O beneficiamento do granito brasileiro é praticamente 100% feito em teares convencionais (Figura 14) (ALMEIDA et al., 2002). Mais de 50% desses teares está no Espírito Santo. O processo geral de beneficiamento, em todas as suas fases, é mostrado na figura 11, enfatizando o momento de geração da lama de serragem.

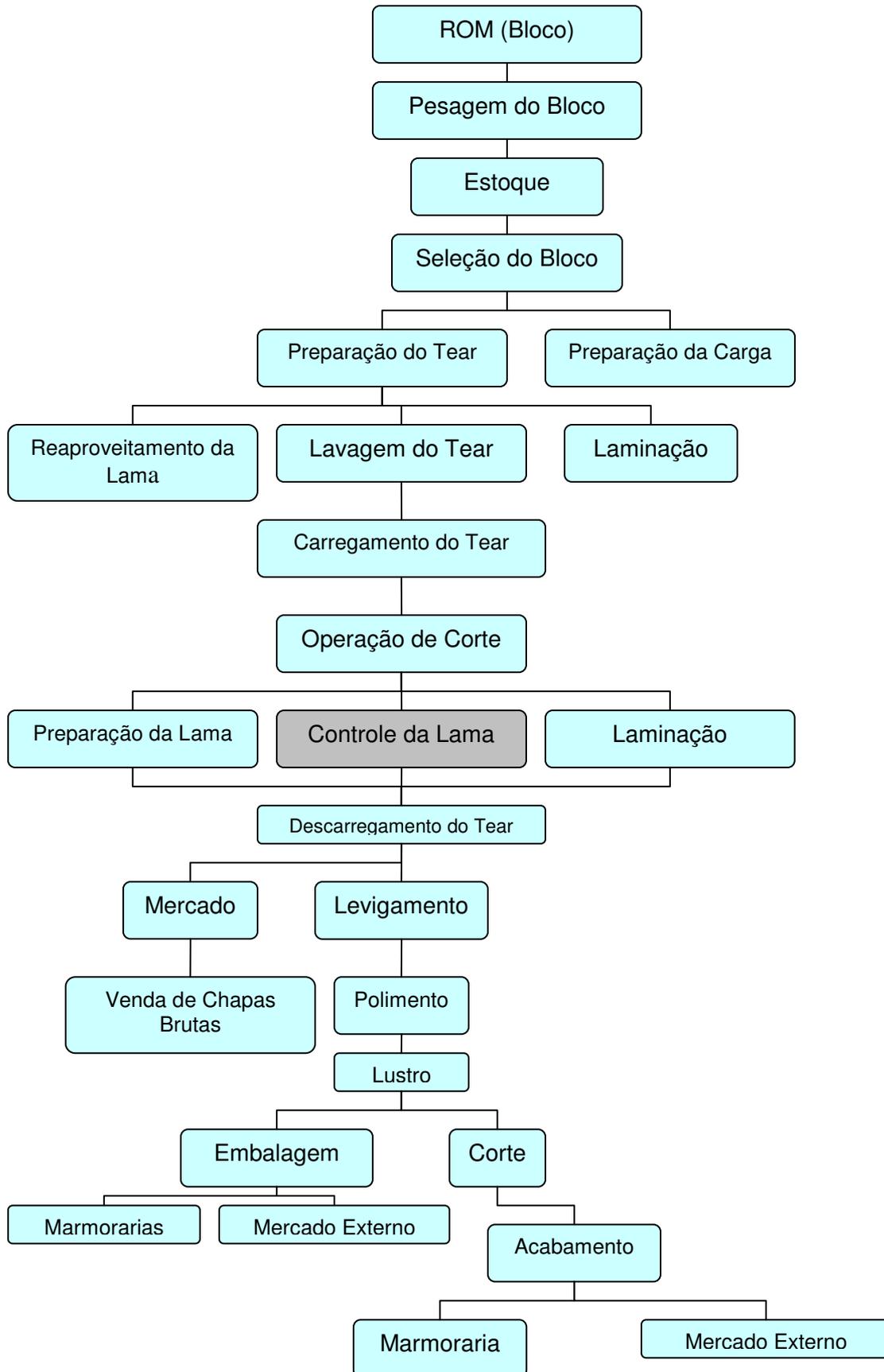


Figura 11 - Fluxograma do processo de beneficiamento primário e secundário de rochas ornamentais. Fonte: PEREIRA, 2004.

O processo de corte dos blocos em teares convencionais (Figura 11) tem como insumos necessários:

- 1) Cal (CaO): atividade emulsificante que reduz a corrosividade a que a granalha e as lâminas de corte estão expostas no processo industrial (VIEIRA JÚNIOR, 2001).
- 2) Granalha (Fe): quase que maciçamente composta por Fe, efetua o corte dos blocos, juntamente com as lâminas, elevando o coeficiente de atrito das mesmas e acelerando todo o processo de desdobramento. Possui uma composição química restante variada (Tabela 6) que possibilita a abrasividade necessária (PAN ABRASIVES, 2007).

Tabela 6 - Composição Química da Granalha

<b>Parâmetro Químico</b>	<b>Percentual (%)</b>
<b>Carbono Total (C)</b>	0,85 – 1,2
<b>Silício (Si)</b>	0,5 – 1,0
<b>Manganês (Mn)</b>	0,6 – 1,0
<b>Enxofre (S)</b>	< 0,05
<b>Fósforo (P)</b>	<0,05

Fonte: PAN ABRASIVES, 2007

- 3) Água (H<sub>2</sub>O): O mais importante agente responsável pela formação e fluxo da emulsão abrasiva (lama) (Figura 12), útil na serragem e pelo carreamento dos rejeitos até o descarte final (Figura 12). É o recurso natural de imprescindível necessidade de utilização sustentável (VIEIRA JÚNIOR, 2001).
- 4) Lâminas de aço-carbono (Figura 13): outro agente do corte, considerado por alguns especialistas , apenas como guia na formação de valetas adjacentes e paralelas no bloco rochoso, onde a emulsão abrasiva efetuará a serragem (Figura 12-A). A composição química dessas lâminas é basicamente de Fe, porém existem outros metálicos e não-metálicos que estão presentes na liga metálica da lâmina, melhorando a resistência ao impacto e à própria corrosividade da estrutura metálica (Tabela 9) (VIEIRA JÚNIOR, 2001).

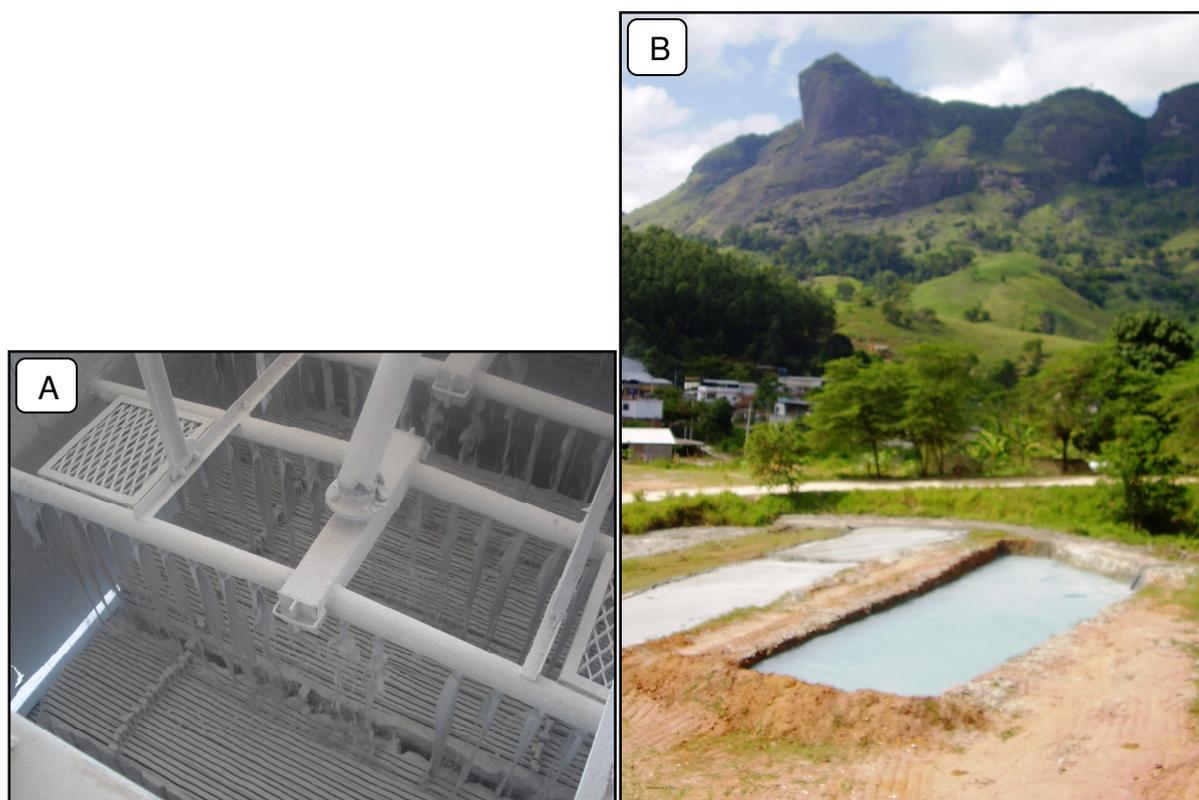


Figura 12 – A- Vista superior de um tear em processo de serragem (corte); inserção da lama abrasiva (emulsão); B- Descarte final da lama abrasiva de corte em vala sem impermeabilização ou compactação do solo.

Tabela 7 - Composição Química da Lâmina de Serragem de Rochas Ornamentais

<b>Parâmetro Químico</b>	<b>Percentual (%)</b>
Carbono Total (C)	0,67 – 0,73
Silício (Si)	0,25 – 0,40
Manganês (Mn)	1,0 – 1,2
Enxofre (S)	Máx. 0,04
Fósforo (P)	Máx. 0,03
Cromo (Cr)	0,10-0,25
Níquel (Ni)	0,08 – 0,15
Cobre (Cu)	Máx. 0,20
Ferro (Fe)	Mín. 97

Fonte: (LONGHAI, 2007)

Aliás, a corrosividade das lâminas de aço-carbono é o fator técnico-químico de maior responsabilidade pelo excesso de cal utilizado no processo de serragem, segundo operários e empresários do setor, pois a adição desse insumo alcalino objetiva elevar a vida útil da lâmina, visto que as lâminas apresentam um custo considerável.

Isso sugere que os metais majoritários (Tabela 7), ao final de um ciclo de vida, para este insumo, provavelmente influenciem na composição final do rejeito de corte (RIBEIRO, 2005).

Depois de serradas nos teares ou talha-blocos, as chapas e outras peças passam por um acabamento final através dos processos de levigamento, polimento e lustro, ou do apicoamento e flameamento - beneficiamento Secundário. As técnicas de apicoamento e flameamento quando aplicadas a certos tipos de material produzem resultados estéticos e práticos diferentes das do polimento, no qual são usados vários tipos de politrizes: manuais, de ponte e multicabeça (Figura 15). O corte final das chapas ou peças utiliza cortadeiras que utilizam o disco diamantado (MORAES, 2006).

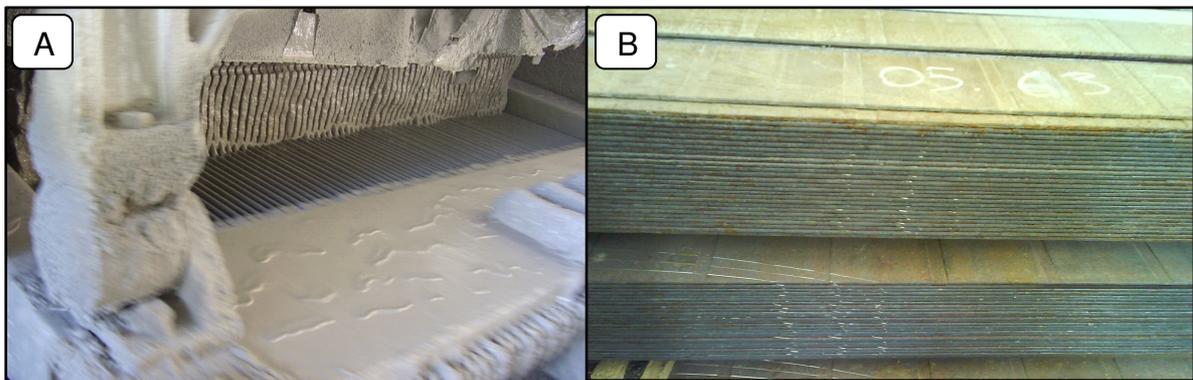


Figura 13 – A- Processo de serragem (corte) de bloco rochoso silicático. Observe o deslocamento de pequena quantidade de lama abrasiva no feixe de lâminas. B- Lâminas de aço-carbono novas em estoque, prontas para serem utilizadas no processo de serragem.

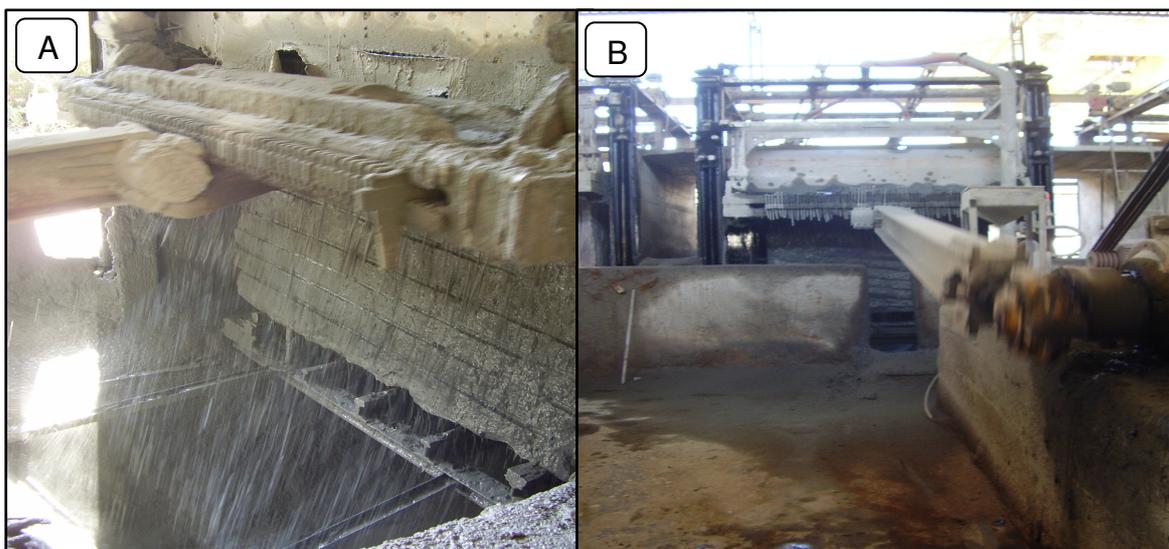


Figura 14 – A- Processo de corte de bloco granítico com elevada demanda de água (vista lateral). B- Vista frontal de um tear convencional, em pleno funcionamento.



Figura 15 - Processo de polimento realizado em placas semi-acabadas de granito.

#### 4 - Demanda Ambiental

Se por um lado há uma forte tendência na exportação de volumes mais elevados de rochas processadas (Figura 16), de maior valor agregado, temos uma contrapartida ambiental perigosa com a possível geração de grandes volumes residuais oriundos do setor. Portanto, frente a esta enorme evolução produtiva e mercadológica, a gestão ambiental deste setor acumula um enorme passivo ambiental de décadas, praticamente estagnada.

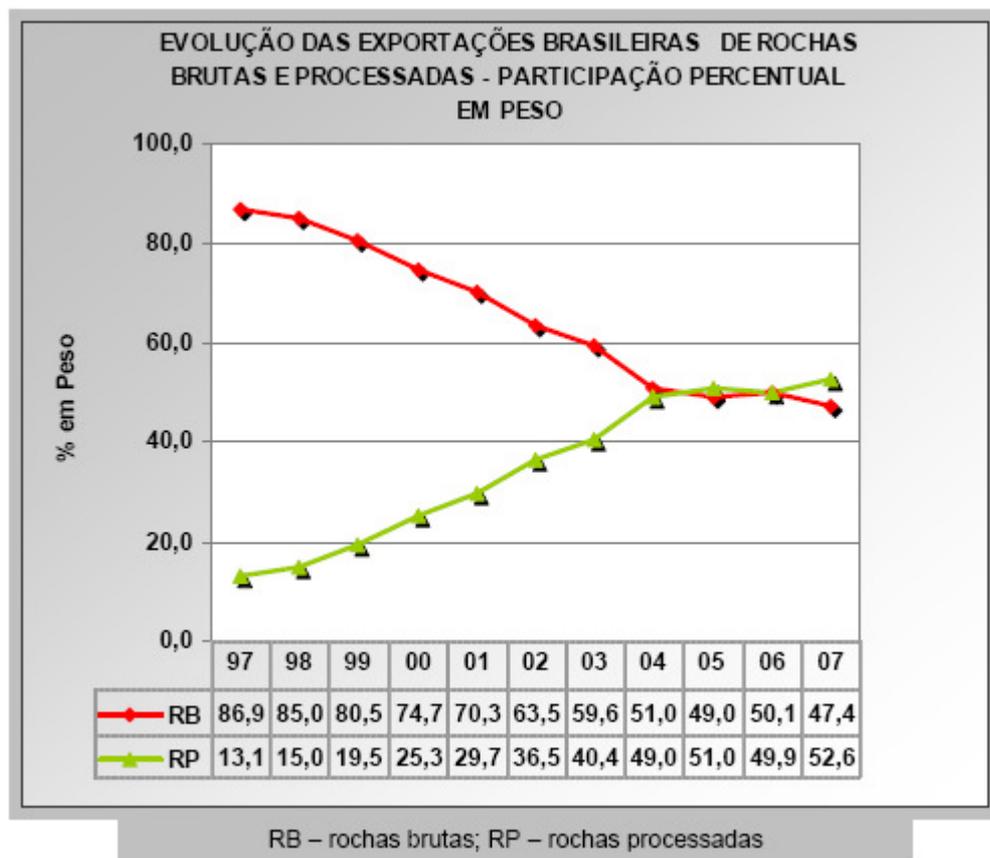


Figura 16- Avaliação da tendência de elevação nas exportações de rochas processadas. Fonte: ABIROCHAS, 2008.

Claramente não há ainda uma política ambiental do setor que fomente uma gestão adequada para os impactos ambientais já existentes e para os que estão por vir.

O mercado de rochas ornamentais ainda não está sensibilizado para a necessidade de uma gestão ambiental específica para o setor. Portanto, ainda não existem custos ambientais incorporados às rochas manufaturadas, o que poderá ocorrer nos próximos anos, pois desde meados de 2007, o poder público estuda a criação de

normas que estabeleçam de forma clara um norteamento para a indústria de rochas ornamentais no sentido de mitigar ou reduzir impactos cumulativos e futuros do setor.

Segundo CIMINELLI (2007), os resíduos industriais e de mineração crescerão em importância econômica e mercadológica nestes próximos 20 anos, diante de sua importância na sustentabilidade das minerações e operações industriais, na abertura de novos negócios e na reabilitação e retomada de minas antigas (Tabela 7).

O foco da reciclagem de materiais residuais da mineração e desdobramento de rochas ornamentais está concentrado nos depósitos e operações industriais próximos dos médios e grandes pólos industriais e promoverá a recuperação destes materiais de alto valor com novas tecnologias mais eficientes (CIMINELLI, R.; 2007).

Portanto, a área de rochas ornamentais carece de informações científicas que viabilizem atividades de extração e beneficiamento menos agressivas e sustentáveis. A tendência de crescimento de projetos de pesquisa neste setor é muito grande, principalmente na possibilidade de geração de novas tecnologias agregadas ao processo de beneficiamentos de rochas ornamentais (PEREIRA, 2004).

Contudo, já existe uma grande possibilidade de encarar os resíduos do setor como matérias-primas de outros processos, sejam industriais ou não, pois devemos de lembrar que estes se originaram de materiais segregados, que no caso das rochas, conservariam algumas características de minerais que lhe deram origem geológica.

Há tendência mundial em classificar as formas de gestão de resíduos, priorizando a redução da geração na fonte, seguida dos outros dois Rs: Reutilização e Reciclagem.

As definições de cada um dos 3Rs, na ordem em que os mesmos devem ser considerados estão relacionadas a seguir :

#### 1. Redução da geração na fonte

Implantação de procedimentos que priorizam a não geração dos resíduos. Estas ações podem variar de implantação de novas rotinas operacionais a alterações tecnológicas no processo produtivo.

## 2. Reutilização de resíduos

Neste caso o resíduo é reaproveitado sem que haja modificações na sua estrutura. Um exemplo é a utilização dos dois lados de uma folha de papel.

## 3. Reciclagem de resíduos

No caso da reciclagem há um beneficiamento no resíduo para que o mesmo seja utilizado em outro (ou até no mesmo) processo (SISTEMA FIRJAN, 2006).

Todavia, não devemos esquecer que novos processos industriais podem gerar novos passivos ambientais, o que sugere a necessidade de uma gestão ambiental adequada desses resíduos para não ocasionar a geração de maiores impactos ambientais futuros.

O caso do mármore é clássico; formado quase que totalmente por calcita e/ou dolomita, matérias primas de vários processos produtivos (vide Tabela 7), tem seu resíduo fino de serragem, quando segregado, possivelmente aplicável a maioria ou totalidade desses setores produtivos.

Portanto, teoricamente, a aplicabilidade, em alguns casos, desde que os materiais fossem segregados após a fonte geradora, seria mantida ou similar aos minerais de origem, podendo reduzir custos produtivos das empresas geradoras.

Não se pode ignorar o fato de que o estudo de alternativas viáveis à destinação adequada de resíduos sólidos depende da caracterização e conseqüente classificação dos mesmos.

A classificação dos resíduos sólidos gerados em uma determinada atividade é o primeiro passo para estruturar um plano de gestão adequado. A partir da classificação serão definidas as etapas de coleta, armazenagem, transporte, manipulação e destinação final, de acordo com cada tipo de resíduo gerado (SISTEMA FIRJAN, 2006).

Tabela 8 - Minerais Industriais e suas Aplicações

	Construção	Cerâmica	Cimento e Cal	Vidros	Refratários	Indústria Química	Agricultura	Cargas (Filler)	Pelotização	Moldes de Fundição	Fundentes Metalúrgicos	Jóias / Decoração	Abrasivos	Pigmentos	Clarificantes	Filtrantes	Ótica e Eletrônica	Amas de Perfuração	
1 - Amianto	⊕				○			⊕											
2 - Areias Silicosas	●	⊕	○	●	⊕	⊕		○		●	⊕		⊕			●	⊕	○	
3 - Argilas: Comum	●	●	●																
Caulim		●	○	○	⊕			●											
Bentonita	○	○						○	●	●					●			●	
4 - Barita		○		○		●		○				○		○				●	
5 - Bauxita, Cianita e correlatos		○	○	○	●	⊕		○		○			○		○				
6 - Calcário, Dolomito e Cal	●	○	●	●	●	●	●	●	●		●	○	○		○		○	○	
7 - Diamante												●	●				○		
8 - Feldspato e Nefelina Sienito		●		●				⊕				○	○						
9 - Fluorita		○		○		●					●	○					○		
10 - Fosfato				○	⊕	●													
11 - Grafita					⊕			○		○									
12 - Ilmenita, Rutilo e Zirconita		○			○	⊕				○				●					
13 - Magnesita					●	○	○					○							
14 - Rochas Ornamentais	●											⊕							
15 - Talco e Pirofilita		⊕			○			●				○	○						

Legenda: ● USO IMPORTANTE    ⊕ USO ADICIONAL    ○ USO OCASIONAL

Fonte: CIMINELLI, 2007

#### 4.1 - Impactos Ambientais Inerentes da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais

As pedreiras de granitos e mármore normalmente são compostas por bancadas, de diferentes modalidades. Essas modalidades vão depender da jazida e da forma de ocorrência do mineral. Dessas bancadas são extraídos os blocos da rocha desejada (MORAES, 2006).

Nessa etapa da cadeia podemos enunciar alguns impactos ambientais relevantes: impacto visual pós-extração (Figura 18-A), impacto ecológico (principalmente se a rocha for carbonática), geração de material particulado, queda de barrancos ou depósitos aleatórios de fragmentos rochosos resultantes do desmonte de material a ser extraído e poluição sonora (Figura 18-B), visto que diversos equipamentos

utilizados geram muito ruído (MORAES, 2006). Portanto, a etapa de extração, principalmente de mármore, possui uma grande demanda de um planejamento ambiental, subsidiado por um bom zoneamento ecológico-econômico (ZEE), em busca da conciliação entre preservação de resquícios de Mata Atlântica e a extração mineral sustentável.

Após a etapa de extração e transporte<sup>4</sup> até os pátios das empresas beneficiadoras, o bloco rochoso, quando necessário é corrigido com massa resinosa e fixado num carro-trilho, dando entrada num tear, na maioria das vezes convencional, para que seja realizada a serragem, conforme especificações do cliente. Nesta etapa do processo, a demanda de água é muito elevada, conforme visto na Figura 14, e uma pequena parte das empresas possui uma gestão adequada de recursos hídricos. Ou seja, a cadeia produtiva de rochas ornamentais atua hoje sem utilizar de forma sustentável o recurso “água” e também contribui para o esgotamento de nascentes e olhos d’água quando promove o desmatamento de coberturas vegetais importantes na continuidade do ciclo da água.

Cenas de desmatamentos nas jazidas e assoreamento de rios em regiões de grande concentração industrial da cadeia produtiva de rochas ornamentais são comuns em Cachoeiro de Itapemirim.

A gestão de recursos hídricos já começou a ser encarada como necessidade em algumas empresas e existe um embate de idéias entre o órgão ambiental (IEMA) e os empresários do setor, a respeito da técnica a ser aplicada. Algumas empresas de grande porte já utilizam o filtro-prensa (comentado no item 11.2), que tem se revelado como excelente ferramenta de gestão de águas. Outras pequenas empresas, dadas as dificuldades financeiras, tentam se associar para adquirir um filtro-prensa em parceria com outras de mesmo porte ou optam pela alternativa dos leitos de secagem<sup>5</sup>. Ambos os métodos não resolvem o problema do grande volume de rejeitos de serragem, somente se aplicando a gestão de águas.

Portanto, este setor industrial tende a enfrentar sérios problemas relativos ao consumo de água se os processos de beneficiamento de rochas ornamentais

---

<sup>4</sup> Para muitos, o transporte de blocos rochosos é uma etapa que necessita de melhoramento emergencial, dado o custo elevado e a enorme periculosidade do traslado.

<sup>5</sup> Tanques de alvenaria com leve inclinação, impermeabilizados ou com compactação adequada de solo, dotados de drenagem para retirada de água a ser reaproveitada no processo produtivo.

continuarem estafantes e sem a preocupação necessária com a sustentabilidade quanto à utilização desse recurso natural.



Figura 17 – Descarte de lama residual de mármore em vala após serragem. Volume abundante de água de descarte.

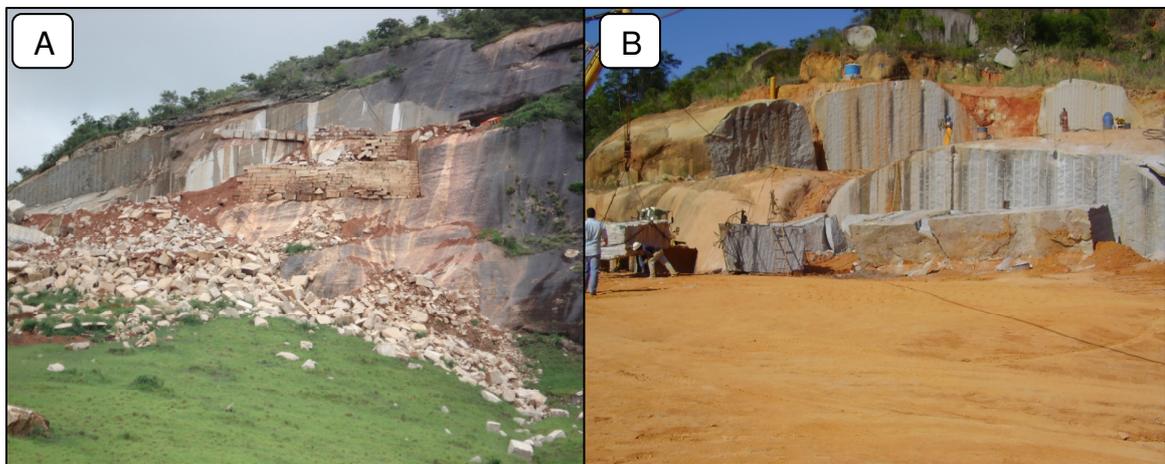


Figura 18- À esquerda, depósitos rochosos adjacentes à lavra que podem desmoronar. À direita, extração de granito com grande geração de ruído e impactos visuais.

Durante a serragem, ocorre a geração abundante de lama abrasiva, rica em cal, pó de rocha, granalha desgastada e limalha resultantes do desgaste das lâminas de aço carbono. De acordo com o Anexo 2, de 26% a 50%, aproximadamente, do bloco rochoso viram resíduo, dependendo da espessura das chapas serradas (Moura et al., 2002).

Laudos técnicos gerados por diversos laboratórios apontam para uma classificação do resíduo em questão como Classe II A ou até II B, sugerindo que os rejeitos da indústria de rochas ornamentais sejam não perigosos, com base na NBR 10.004 da ABNT (2004), contudo, a falta de uniformização dos processos industriais ou até a grande variabilidade de composição das rochas do ES, a ausência de métodos analíticos validados e os exageros próprios do processo produtivo, tornam estes laudos menos consistentes do que deveriam realmente representar. De qualquer forma, ainda temos um grande volume residual a ser reconduzido a um setor industrial ou descartado de forma adequada (VIEIRA et al., 2004).

Além do mais, a duplicidade de idéias a respeito da apuração de parâmetros químicos nos leva a necessidade de apurar qual das informações é mais coerente e expressiva em relação ao setor, já que de antemão registramos uma falta de uniformidade na utilização de muitos dos insumos já citados, úteis ao processo (VILLAS BOAS, 2005).

É em busca dessas informações relevantes, que o presente trabalho de pesquisa pretende subsidiar, sem esgotar o assunto, avaliações advindas de laudos técnicos futuros em relação ao resíduo gerado pelo setor de rochas ornamentais, bem como sugerir possíveis modificações da cadeia produtiva de rochas ornamentais, referentes à utilização sustentável de insumos necessários no desdobramento de rochas silicáticas e carbonáticas (RIBEIRO, 2005). Para isso, é necessário que se criem mecanismos adequados ao monitoramento de parâmetros físico-químicos no rejeito imediatamente gerado e de preferência, segregar resíduos de rochas carbonáticas de silicáticas e inclusive das etapas, a saber, serragem e polimento, principalmente. Feito isso, após uma caracterização dos rejeitos em questão, pode-se destinar o resíduo de serragem de blocos rochosos à reciclagem ou, em último caso, ao aterro industrial (VIEIRA et al., 2004).

Após a serragem ou corte de blocos, as chapas podem passar por um tratamento que objetiva a elevação da resistência aos choques e intempéries e o embelezamento das mesmas. O resíduo desta etapa é consideravelmente mais aquoso e certamente não deveria ser adicionado ao resíduo da serragem, sob pena de estarmos gerando um rejeito ainda mais complexo para ser estudado, caracterizado e destinado. Nesta etapa pode ocorrer a aplicação de resinas de composição química variada, incluindo orgânicos, o que tende a complexar e

desvalorizar o rejeito, reduzindo a variedade de destinações industriais possíveis (reciclagem) ou de reaproveitamento para o mesmo (CIMINELLI, 2007).

Outro foco de impactos ambientais do beneficiamento de blocos de rochas ornamentais é a geração de particulados, que sugere a demanda de um monitoramento inicial, para aplicação posterior de estratégias de mitigação ou extinção dos efeitos gerados, tanto em relação aos empregados, como na população de entorno, já que muitas empresas estão localizadas próximas a vilas e até bairros residenciais na região de Cachoeiro de Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo (BON, 2006).

## 5 - Parâmetros Norteadores da Toxicologia de Resíduos Sólidos Industriais

A necessidade de intervenção num determinado processo industrial é determinada por padrões pré-estabelecidos em função de experiências relativas a acidentes ambientais, estudos de toxidez de determinada espécie química num ambiente ou num ser vivo de interesse, estudos de potabilidade de águas. Tais padrões são conhecidos como limites de intervenção (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

No Brasil existe uma Resolução Conama n° 357, de 17/03/2005 (BRASIL, 2005) que estabelece a classificação das águas superficiais e quantidades limítrofes de qualidade exigidos (Tabela 10) , assim como padrões de potabilidade definidos pela portaria 518, de 25/03/2004 (Tabela 11), do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). Ainda em relação à Tabela 11, valores guias para metais são apresentados para solos e sedimentos de dragagem, seguindo critérios internacionais (Brasil, 2004).

Tabela 9 - Concentrações limítrofes de diversos contaminantes em água superficial adotados pela resolução Conama n° 357 de 2005 (CLASSE I).

<b>Parâmetros Inorgânicos</b>	<b>Valor Máximo mg/L</b>
Alumínio dissolvido	0,1
Arsênio Total	0,01
Bário Total	0,7
Cádmio Total	0,001
Chumbo Total	0,01
Cobre dissolvido	0,009
Cromo total	0,05
Ferro dissolvido	0,3
Manganês total	0,1
Merúrio total	0,0002
Zinco total	0,18

Fonte: BRASIL, 2005

Tabela 10 - Padrões de potabilidade definidos pela portaria 518, de 25/03/2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004)

<b>Parâmetros Inorgânicos</b>	<b>Valor Máximo mg/L</b>
Antimônio	0,005
Arsênio Total	0,01
Bário Total	0,7
Cádmio Total	0,005
Chumbo Total	0,01
Cobre dissolvido	2
Cromo total	0,05
Merúrio total	0,001
Selênio	0,01
Zinco total	0,18

Fonte: BRASIL, 2004

## 5.1 - Classificação do Resíduo

A norma NBR 10004:2004 da ABNT tem como objetivo geral classificar os resíduos sólidos aos seus riscos potenciais ao ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente (SOUZA FILHO, 2005).

Segundo a Norma NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação, revisada em 2004, a definição de resíduos sólidos é a seguinte:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A NBR 10004 ainda classifica os resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Outras normas utilizadas para completar essa classificação são as seguintes (SISTEMA FIRJAN, 2006):

- Resolução ANTT 420/2004 - Regulamento do transporte terrestre de produtos perigosos - Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT);
- ABNT NBR 10.005:2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos;
- ABNT NBR 10.007:2004 - Amostragem de resíduos sólidos;
- ABNT NBR 12.808:1993 (Resíduos de serviço de saúde) – Classificação;
- ABNT NBR 14.725 - Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ);
- ABNT NBR 10.157 - Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação;
- ABNT NBR 10.006:2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos;
- ABNT NBR 14.598:2000 - Produtos de petróleo – Determinação do ponto de fulgor;

- ABNT NBR 11.174 - Armazenamento de resíduos inertes (II b) e não inertes (II a);
- ABNT NBR 12.235 - Armazenamento de resíduos sólidos perigosos.

A norma brasileira de resíduos é dividida em duas classes, sendo que uma delas possui duas subdivisões: classe I, chamados perigosos e classe II, denominados não-perigosos, que se subdivide em inertes e não inertes (SOUZA FILHO, 2005).

A grande maioria dos resíduos se enquadra na classe II, por causa dos critérios adotados (SOUZA FILHO, 2005).

As amostras, submetidas ao ensaio de lixiviação, que apresentarem ao menos um parâmetro acima do limite preconizado na NBR 10.004 da ABNT, são classificadas como resíduo Classe I (perigoso), enquanto às que apresentarem todos os parâmetros abaixo dos mesmo limites, classificadas como Classe II (não perigoso).

As amostras, submetidas ao ensaio de solubilização, que apresentarem ao menos um parâmetro acima do limite preconizado na NBR 10.004 da ABNT, são classificadas como Classe II A (não inertes), do contrário, são classificadas como Classe II B (inertes).

As amostras cujos pH's determinados estiverem fora do intervalo (2 – 12,5) são também consideradas resíduos Classe I (perigoso) e portanto, corrosivas (LORENZONI, 2005).

Em relação à disposição de resíduos no solo, a principal preocupação está voltada aos processos de migração de poluentes da massa estabilizada para o meio circundante. Através da passagem do meio lixiviante por essa massa e/ou em volta dela, os poluentes da amostra podem ser dissolvidos no lixiviante, lavados da superfície do material estabilizado, ou difundidos de dentro da massa estabilizada para o lixiviante. Assim, a lixiviabilidade depende das propriedades físicas e químicas, tanto do material estabilizado quanto do lixiviante (NEDER et al., 1999).

A NBR 10004 passa atualmente por uma avaliação. Sabe-se que simples testes químicos e físicos não avaliam um resíduo, são necessárias observações, critérios na amostragem, monitoramento ao longo do tempo e acima de tudo, senso crítico para compor o universo ao qual se avalia (FONSECA, 2003).

É necessária uma visão holística de todo processo produtivo para se avaliar o quão perigoso ou tóxico pode ser o resíduo gerado em um processo produtivo. No caso específico em questão, o monitoramento de pH deve ser realizado também *in situ*, para se avaliar se há decaimento e se possível, em que taxa. Os insumos que entram no processo produtivo têm que ser amplamente gerenciados, desde a sua composição até as condições de utilização, as atitudes dos operários envolvidos no processo produtivo têm que ser avaliadas em diferentes horários de manufatura e estes devem ter um mínimo necessário de treinamento adequado ao setor de beneficiamento de rochas. Enfim, o processo produtivo deve ser avaliado num todo, para que não haja surpresas na caracterização tanto química como física em laboratório.

O teste de lixiviação tem sido utilizado no Brasil para classificar materiais como perigosos ou não perigosos, considerado como um teste regulamentar. As concentrações químicas medidas são simples simulações utilizadas no processo de teste, em que alterando o pH, ou proporção de sólidos as concentrações químicas mudarão (NEDER, 1999).

As normas não podem ser onipotentes, nem tão pouco, a última palavra em termos de monitoramento de impactos. Elas devem ser encaradas como mais um parâmetro a ser consultado para que se avalie o real impacto ambiental gerado por um determinado resíduo no ambiente.

Existem muitos questionamentos em relação às normas referência, utilizadas no Brasil, principalmente na padronização de concentrações proibitivas para determinados parâmetros químicos que divergem de normas aplicadas na Europa e nos Estados Unidos, pois os focos são diferentes. Sabe-se que as normas brasileiras sofrem grande influência das norte-americanas, porém, não necessariamente os impactos ambientais aqui serão os mesmos que aconteceriam em outros ecossistemas terrestres. O Brasil carece de materiais de referência baseados no nosso clima característico, levando em conta variáveis específicas para regiões tropicais, como é o nosso caso.

Não se questiona o caráter mais restritivo da distinta norma, mas os critérios que devem ser considerados para o estabelecimento dessas restrições. Cabe ressaltar que o uso de padrões internacionais podem levar à avaliações inadequadas, já que

existem diferenças nas condições climáticas, tecnológicas e pedológicas de cada país, justificando o desenvolvimento de listas orientadoras próprias, compatíveis com as características de cada um deles (CASARINI et al., 2001).

Na Tabela 12 são apresentados alguns valores limites (mg/L) para os extratos lixiviados e solubilizados obtidos para rejeitos sólidos conforme norma ABNT NBR 10004:2004.

Tabela 11 – Valores limites permitidos pela norma NBR 10004:2004 da ABNT.

	As	Al	Cd	Zn	Cr	Pb	Cu	Mn	Fe	Na	Ba
Limite máx. NBR 10.004 extrato lixiviado (mg/L)	1,0	-	0,5	-	5,0	1,0	-	-	-	-	70
Limite máx. NBR 10.004 extrato solubilizado (mg/L)	0,01	0,2	0,005	5,0	0,05	0,01	2,0	0,1	0,3	200	0,7

## 6 – O Propósito dos Ensaio de Solubilização e Lixiviação

Os ensaios de solubilização e lixiviação são instrumentos de avaliação da interação entre resíduos sólidos expostos a condições extremas, no ambiente. Através desses ensaios é possível ter uma idéia de um determinado impacto a ser causado ao ambiente, quando o referido resíduo é disposto sem que haja nenhum tipo de gerenciamento ou tratamento prévio do mesmo.

### 6.1 - Ensaio de Solubilização para Resíduos Sólidos

A NBR 10006 da ABNT/2004 simula a atuação da água proveniente de precipitações atmosféricas em resíduos sólidos supostamente dispostos em “céu aberto”, no ambiente. O extrato solubilizado obtido ao final deste ensaio é o que possui o maior número de parâmetros metálicos a serem determinados analiticamente (ABNT, 2004).

Deve-se ter cuidado com o tempo e o vigor da agitação pré-solubilização, bem como o tamanho dos recipientes de repouso do material a ser solubilizado, pois a superfície de contato pode influenciar na geração de resultados de determinação de elementos traço.

### 6.2 – Ensaio de Lixiviação para Resíduos Sólidos

Do ponto de vista ambiental, a lixiviação é um fenômeno que descreve a taxa com que os constituintes perigosos ou indesejáveis são removidos de um resíduo por fluxo de solução aquosa adicionada de ácidos de origem natural (úmicos, etc). Essa taxa é usualmente medida e expressa, todavia, em termos de concentração de um ou mais constituintes no lixiviado. Essa concentração determina o efeito dos constituintes na vida dos organismos vivos, especialmente nos seres humanos, embora ela não prediga o efeito cumulativo provocado por uma exposição em um longo intervalo de tempo. (BAPTISTA, 2001)

Quando há a avaliação da lixibilidade de um material, compara-se a concentração de um constituinte perigoso no lixiviado com o resíduo original. Isto indica a proporção de um constituinte dissolvido durante o teste como uma medida de lixibilidade do material. Observa-se que, se os constituintes perigosos lixiviam com o tempo, o

potencial perigoso dos resíduos gradualmente diminui. A concentração dos íons nas águas percoladas é em geral, mais elevada no início da percolação, diminuindo com o passar do tempo, o que também se observa nos tanques de secagem de indústrias de rocas ornamentais. (BAPTISTA, 2001; BRADY, 1989)

Não se deve desconsiderar que o extrator do ensaio de lixiviação também é ácido, semelhantemente às águas no ambiente, que poderiam entrar em contato com o rejeito de mármore e granito, disposto no solo não-compactado adequadamente ou não impermeabilizado, pois procura simular a interação do rejeito com ácidos úmicos e outros orgânicos e inorgânicos possíveis provenientes da interação entre agentes bióticos e abióticos do solo.

Contudo, o ensaio de lixiviação não avalia a velocidade de percolação de um determinado contaminante e tão pouco a direção dessa infiltração, o que está intimamente ligado ao solo, onde se pretende dispor determinada carga residual (aterro industrial).

Também é importante considerar que alguns outros fatores extra-processo de lixiviação podem interferir no meio, tais como: área superficial de contato, natureza do lixiviante, razão entre lixiviante e o resíduo, número de repetições (no estudo em curso foram realizadas três (03)); tempo de lixiviação, pH, separação e interação entre extratos (pré-lixiviado e pós-lixiviado) e a análise química utilizada.

A solução utilizada para um teste de lixiviação deve assemelhar-se ao fluido real que estará em contato com os resíduos no meio-ambiente. Como não é possível criar uma solução única que atenda as variáveis, a tendência é utilizar uma solução de lixiviação agressiva, com baixo pH, para simular a pior situação do meio, portanto, quaisquer resultados de pesquisas devem ser divulgados após exaustivas repetições e levando em conta a rigidez do método proposto na NBR 10.005:2004 (ROCCA, 1993).

## 7- Materiais e Métodos

Todas as amostras coletadas passaram ou estão em estudo através de uma seqüência de ensaios que visam a caracterização físico-química das mesmas, de acordo com a série de normas para caracterização de resíduos sólidos das NBR's (10.004 -10.007:2004) da ABNT, conforme será mostrado a seguir.

### 7.1- Amostragem

As amostragens foram realizadas na Microrregião de Cachoeiro de Itapemirim, nas localidades de Gironda, Vargem Alta de Soturno e Atílio Vivácqua, com a colaboração de diversas empresas filiadas ao Sindicato das Indústrias de Rochas Ornamentais, Cal e Calcário do Estado do Espírito Santo (Sindirochas) e as amostras foram levadas até o Laboratório de Química Analítica da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), para avaliações dos parâmetros físico-químicos preconizados na norma de classificação de resíduos sólidos da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) (NBR 10.004/ 2004), em caixas de isopor em veículo próprio particular, em viagem de aproximadamente 2 horas.

O local de realização da amostragem, no interior das empresas, foi escolhido pelas próprias circunstâncias do objetivo da caracterização dos rejeitos no presente projeto de pesquisa (GRIGORIEFF, et. al., 2002). A proposta é realizar a caracterização por tipo comercial de rocha serrada, portanto, como o processo atual realizado nas empresas do setor não contempla essa prerrogativa, a única alternativa foi realizar a coleta das amostras na espurga (após a passagem pelo hidrociclone), (Figura 19) após o descarte final do corte de blocos rochosos.

Antes de coletar as amostras, como atualmente em frascos adequados, este projeto teve alguns percalços com frascos e embalagens que apresentaram fragilidades, que em momentos variados dificultaram a retirada, transporte de amostras e homogeneização, dificuldades que justificaram a substituição dos mesmos até os recipientes atuais, plenamente adequados à coleta e armazenagem das amostras.

Foi fundamental a visualização física do material a ser analisado, pois as características macroscópicas do rejeito sugeriram determinados cuidados com os frascos de coleta e com a forma de transportá-los.



Figura 19 - Preparo para a amostragem a ser realizada na espurga de cada tear de forma segregada.

Foi fundamental a visualização física do material a ser analisado, pois as características macroscópicas do rejeito sugeriram determinados cuidados com os frascos de coleta e com a forma de transportá-los.

Os resíduos de corte dos blocos de rochas ornamentais (RCRO) possuem características cimentantes e são heterogêneos (FALCÃO et al., 2001) (Figura 20), o que forçou a opção por frascos de “boca” larga, ou de ampla abertura que facilitassem a retirada das amostras e também a sua homogeneização.



Figura 20 – Perfil de pilha residual em um leito de secagem. A heterogeneidade é flagrante (estratificação); existem focos de concentração de cal extinta e de ferro em oxidação.

Outro fator importante foi a base do frasco ou recipiente de coleta, que deve ser resistente o suficiente para manter os frascos estabilizados, de forma a não permitir o tombamento dos frascos e perda das amostras por possíveis rompimentos durante o transporte.

Contudo, restava ao processo de amostragem uma diretriz quanto aos tempos ou momento de coleta. Como as dosagens de insumos utilizados nos processos de corte são variáveis durante todo o processo, seria necessária a escolha de pelo menos três momentos arbitrários, mas que representassem de forma real o início de serragem, o meio e o fim desse processo de beneficiamento de granitos e mármore.

Sendo assim, vários incrementos, num total de dez (10) (Figura 21), foram extraídos e recolhidos em um balde plástico de aproximadamente 15,0 L, para compor cada amostra de vários tipos comerciais de rocha representando, ao final, após homogeneização e o quarteamento, três amostras representativas foram obtidas em relação ao processo de corte de rochas.

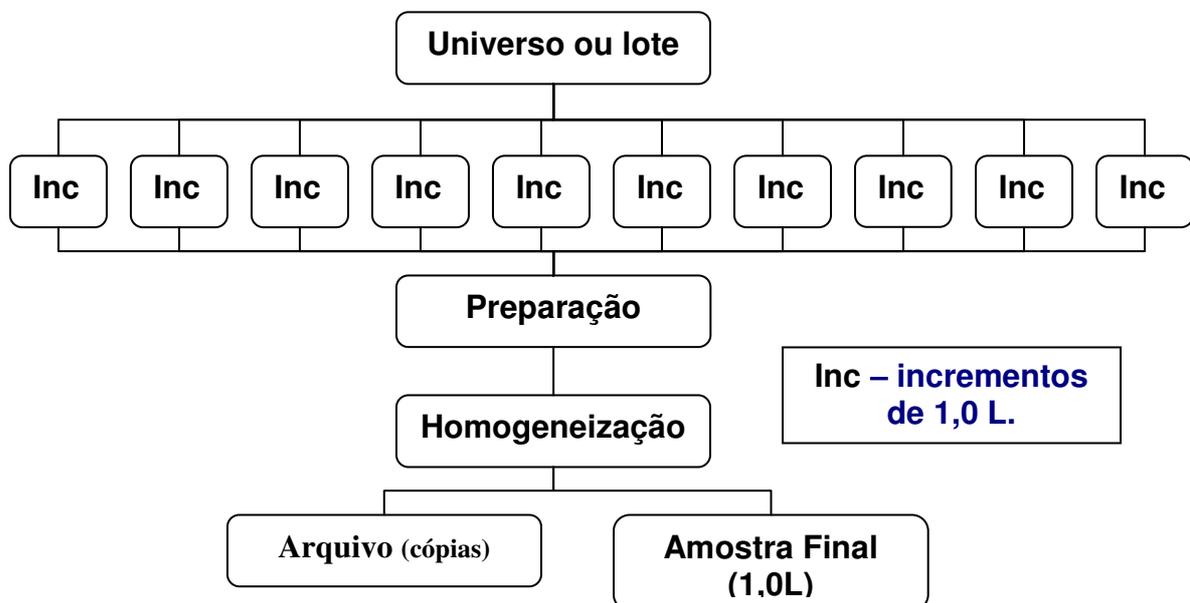


Figura 21 - Diagrama mostrando a metodologia adotada na amostragem de resíduos sólidos de corte de granitos e mármore.

Nota ; Formatação adaptada de (SAMPAIO, 2007)

Para realizar as coletas de amostras com vistas à grande vazão residual na espurga do tear de corte foram necessários luvas de borracha, balde plástico de 15,0L e frascos de 1000,0 mL com tampas de pressão translúcidos de poliestireno. Foram realizadas cronometragens razoáveis das amostragens, visto que as coletas privilegiaram o início, o meio e o fim da serragem de cada bloco. Como as rochas variam sua caracterização física, sempre realizou-se amostragens em dias distintos, priorizando a seqüência já citada.

Os frascos foram previamente identificados conforme a NBR 10.007:2004 da ABNT, amostragem de resíduos sólidos (Figura 22).



Figura 22 - Frascos de amostragem, rotulados adequadamente para facilitar a organização dos dados.

As amostragens residuais realizadas foram escolhidas por representarem materiais de elevada demanda e, portanto, de alta comercialização no setor de rochas ornamentais, sendo exclusivamente extraídas do solo capixaba.

As amostragens foram realizadas logo após na espurga dos teares logo após a passagem pelo hidrociclone (Figuras 23 e 24).

Os procedimentos adotados na condução e conservação das amostras foram fundamentados na norma NBR 10.007 da ABNT de 2004.



Figura 23 - Local onde as amostragens foram realizadas, abaixo dos teares multilâminas, na linha de beneficiamento de rochas ornamentais.

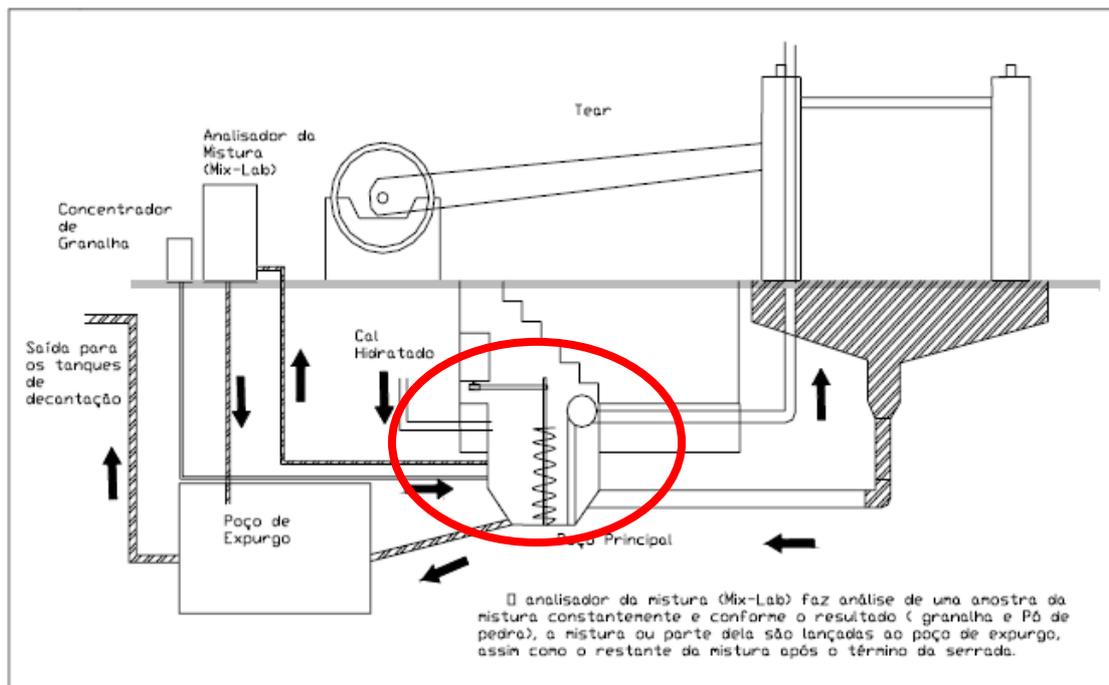


Figura 24 - Esquema modelo de um tear multilâminas, com explicitação do local onde as amostragens foram realizadas na área dentro do círculo em vermelho. Fonte: PEYNEAU e PEREIRA, 2004.

## 7.2 – Avaliação do pH

Imediatamente após a recepção das amostras residuais em laboratório, estas passaram por um monitoramento de alcalinidade, através da utilização de um medidor de pH, modelo PM608 da marca ANALON (Figura 25). O pH das amostras estudadas é muito elevado, como mostra o Anexo 5.

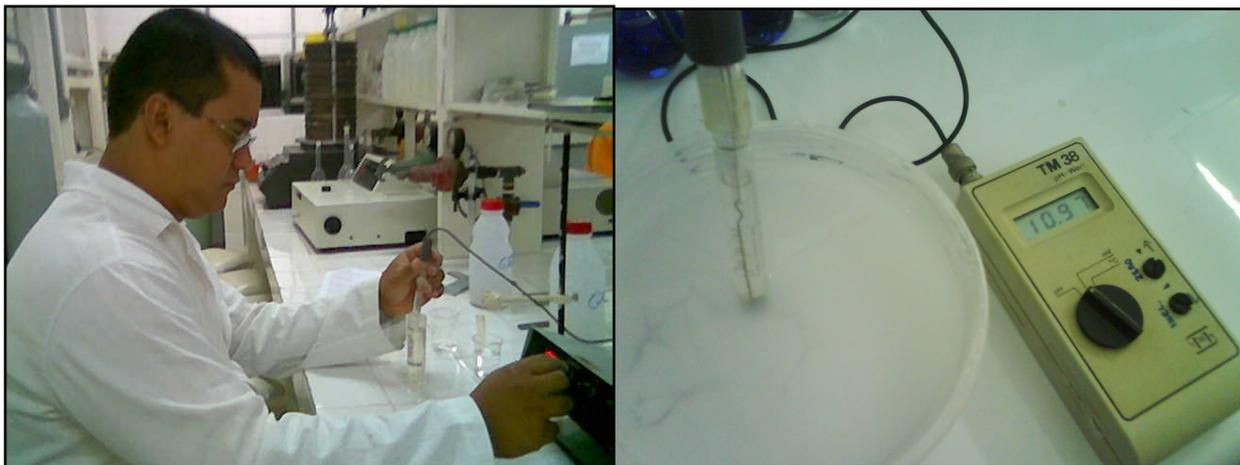


Figura 25 - Avaliação da alcalinidade de amostras de corte de blocos de mármore e granitos.

Apesar de ser uma análise físico-química preliminar, o monitoramento do pH das amostras originais, quando verificados valores fora da faixa (2 – 12,5) já é suficiente para considerar o resíduo perigoso (ABNT, 2004).

## 7.3 - Ensaio de Solubilização para Resíduos Sólidos

Cada amostra de resíduo foi seca a 42 °C, em bandejas plásticas, plastigel de 3.000 mL (Figura 26-1) em estufa com circulação forçada de ar, modelo Q314M-242, da marca CALLMEX (Figura 26-2); no caso do rejeito em questão, geralmente, são necessárias 72h, em média, nessas condições, para que o material seja seco (Figura 26-3). Todo o processo de secagem foi monitorado em balança semi-analítica, modelo MARK 2200 de marca BEL Engineering, retirando-se as bandejas plásticas reiteradas vezes até que a constância de massa fosse verificada. Determinou-se inclusive, a perda de umidade explicitada no Anexo 3 (ABNT, 2004).

Para essa secagem, utilizaram-se massas próximas de 1.000g, já que para cada amostra são feitas duplicatas, o que possibilitou a verificação de repetitividade da metodologia de preparo para o ensaio de solubilização.



Figura 26- Em 1, preparo de amostra para a secagem a 42 °C em estufa; em 2, amostras em secagem pré-solubilização, em bandejas plásticas, a 42 °C; em 3, resíduos secos, para a determinação do teor de umidade preliminar ao ensaio de solubilização; em 4, pesagem de alíquota de 250g para ensaio de solubilização, segundo norma NBR 10006:2004.

Determinados os teores de umidade, conforme norma supracitada, as amostras foram trituradas até se obter granulometria de 9,5 mm, verificadas em peneira própria; pesaram-se alíquotas em duplicata de cada material residual de aproximadamente 250,0g em balança semi-analítica já citada, em béqueres de 1,5L ou recipientes plásticos de forma e volumes similares (Figura 26-4). Esse ensaio submeteu os resíduos secos a superfícies similares de contato com a água de osmose reversa (1,0 L), em agitação regular, de cinco minutos, em agitador rotatório, modelo MA 266E, da marca Marconi (Figura 27-1).



Figura 27- Em 1, pré-agitação em ensaio de solubilização, para evitar estratificação do resíduo, em agitador artesanal, feito com motor de pára-brisa veicular; em 2, selagem do frasco de solubilização residual a passar pelo ensaio de solubilização; em 3, amostras em ensaio de solubilização; em 4, obtenção do extrato solubilizado em aparelho de filtragem a vácuo.

Após este procedimento, os recipientes foram selados com filme delgado de PVC (Figura 27-2), para evitar possíveis contaminações do analito e repousados por sete dias corridos (Figura 27-3).

Vencidos os prazos de repouso, as amostras foram desseladas e filtradas, em aparelho de filtragem a vácuo, guarnecido com membrana filtrante de fibra de vidro de 0,45  $\mu$ m de porosidade (Figura 27-4).

O filtrado obtido é denominado extrato solubilizado, passando por novo monitoramento de alcalinidade (avaliação de pH), sendo dividido em duplicatas e acidificado, com HCl e HNO<sub>3</sub>, respectivamente, ambos tipo P.A (para análise) e envasados em dois frascos distintos. Ambos os analitos passaram a estar em pH<2,0, para estabilização de parâmetros analisáveis até o momento obtenção do

referido extrato. Tal procedimento se fez necessário para que as análises a serem realizadas em outro trabalho, de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , não fossem comprometidas, pois esses são parâmetros químicos importantes na classificação do resíduo em questão.

#### 7.4 - Ensaio de Lixiviação para Resíduos Sólidos

Para realização deste ensaio, utilizou-se como referencial a norma NBR 10005:2004 da ABNT, que estabelece requisitos exigidos para obter-se um extrato lixiviado de um determinado resíduo sólido. A plena caracterização química deste extrato subsidia a classificação do resíduo em classe I (perigoso) ou classe II (não-perigoso).

O ensaio de lixiviação, apesar de mais trabalhoso, é mais rápido do que o de solubilização, pois, demanda, pela norma NBR 10005:2004 da ABNT, um tempo de contato com o extrator lixiviador de  $(18 \pm 2)$ h à temperatura de 25 °C, em agitação vertical rotatória de 360° (ABNT, 2004).

As determinações preliminares, em grande parte, são responsáveis pela exaustiva mão-de-obra, porém, são de elevada importância no desenvolvimento piloto da interação resíduo: ambiente.

Para proceder ao ensaio de lixiviação (Figura 28), é necessário determinar a granulometria ( $\leq 9,5$  mm) e o grau de umidade das amostras de resíduo, a 100 °C. No caso em questão, os rejeitos de corte de rochas ornamentais são finos e úmidos, portanto, é necessário determinar o teor de sólidos úmidos, pois na estimação da massa que será disposta à lixiviação, tem-se que garantir a presença de aproximadamente 100,0g do sólido úmido. Também não se deve esquecer de que o primeiro filtrado (pré-lixiviação) deve ser testado na relação 1:1, junto ao filtrado pós-lixiviado (ABNT, 2004).

No caso de precipitação, como tem ocorrido nos resíduos do corte de rochas em questão, o filtrado pré-lixiviação é descartado e somente o pós-lixiviação é considerado o extrato lixiviado do processo em desenvolvimento. Caso contrário, a composição do extrato lixiviado seria feita de ambos filtrados já citados (ABNT, 2004).

Para essa determinação, utiliza-se o resíduo, em quantidade suficiente para gerar 100,0g de analito.

Novamente utilizou-se o aparelho de filtração a vácuo, com incrementos gradativos de pressão de sucção de 7 a 70 kPa, para obter uma determinada massa de sólidos úmidos, possibilitando a informação do teor de sólidos úmidos da amostra, percentualmente (Anexo 4).



Figura 28 - Ensaio e lixiviação conforme NBR 100.005:2004 ABNT

O sólido foi então, disposto juntamente com o filtro, de (0,6 a 0,8)  $\mu\text{m}$  (GF 3), também de fibra de vidro, quantitativamente, numa cápsula de porcelana previamente limpa, sendo inserida em uma estufa com circulação forçada de ar, a  $(100 \pm 20)$   $^{\circ}\text{C}$ .

Após 24h, em média, os teores de umidade das amostras residuais em questão não mais variam em balança semi-analítica, conforme comprovado na prática. A partir daí, determinou-se o teor de sólidos secos, conforme o Anexo 4.

A próxima etapa preliminar foi a determinação da solução que representaria o líquido extrator no processo de lixiviação a ser aplicado em resíduos de rochas ornamentais.

Com granulometria já determinada, 5,0g de cada amostra foram adicionados a 96,5 mL de água de osmose reversa, sendo em seguida agitado vigorosamente com agitador magnético, modelo MA 085, da marca Marconi, por 5 minutos, em recipiente coberto com vidro de relógio.

Em seguida, determinou-se o pH, que no presente caso sempre foi muito alcalino, forçando uma próxima etapa, que consistiu na adição de 3,5 mL de solução de HCl

1,0N, homogeneização e subsequente cobertura com vidro de relógio, a 50 °C, levando-se à agitação por 10 minutos.

O pH obtido para os resíduos em questão sempre foi  $\leq 5,0$ , dada a exposição de um resíduo abrasivo alcalino de base moderada a um ácido forte. Isso determinou a utilização da solução extratora nº 1, conforme item 5.1.3 e da norma 10005:2004 da ABNT:

- **Solução extratora tampão nº 1:** 5,7 mL de ác. Acético glacial a solução de NaOH (64,3 mL) 1,0N, completando-se o volume para 1.000mL, com água de osmose reversa. O pH desta solução extratora sempre oscilou em  $4,93 \pm 0,05$ .

Com o líquido extrator em mãos, pôde-se realizar 4 corpos de prova por vez (um por dia), contando com um agitador rotatório de lixiviação, modelo MA 204E, de marca Marconi, em frascos de 2,0 L, de vidro temperado (Figura 28).

Após este procedimento supracitado, imediatamente procedeu-se a filtração para a obtenção do filtrado pós-lixiviação, que após teste de solubilidade eqüitativa com o filtrado pré-lixiviação, guardado anteriormente, resultou em formação de colóide. A partir deste fato, segundo a NBR 10.005 da ABNT, somente o filtrado pós-lixiviação compôs a amostra lixiviada para o resíduo em questão.

Então os extratos lixiviados passam por avaliação de pH (Figura 29) e são duplicados e acidificados separadamente com 5 mL HCl e HNO<sub>3</sub>, ambos concentrados, e levados a arquivados para análises químicas posteriores.



Figura 29 – Avaliação do pH pós-lixiviação.

## 7.5 – Dissolução Total das Amostras

As amostras de rejeito de granito e mármore foram digeridas com uma mistura de ácidos e peróxido de hidrogênio (JESUS, 1996) para determinação da concentração total de alguns metais e permitir uma melhor caracterização dos resíduos e processo industrial.

Cerca de 500 mg das amostras secas em estufa (42 °C) foram transferidas para béqueres de teflon e digeridas com as misturas abaixo, sequencialmente, em chapa elétrica aquecida a 250 °C contida num sistema de exaustão. Cada etapa era levada até quase a secura. O resíduo final foi dissolvido com HNO<sub>3</sub> 0,2% e o volume completado para 50 mL em tubos de polipropileno, após filtração das soluções com papel de filtro quantitativo.

**1ª etapa:** 10 mL de HNO<sub>3</sub> + 5 mL de HF

**2ª etapa:** 5 mL de HNO<sub>3</sub> + 5 mL de HF

**3ª etapa:** 5 mL de HNO<sub>3</sub> + 5 mL de HClO<sub>4</sub>

**4ª etapa:** 5 mL de HNO<sub>3</sub> → a) no caso de ausência de resíduo adição final de 5 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
b) no caso de presença de resíduo adição de mais 5 mL de HF, com posterior adição de 5 mL HNO<sub>3</sub> e 5 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

## 7.6 – Determinação de Metais por Espectrometria de Absorção Atômica

As soluções obtidas após os procedimentos de lixiviação e solubilização, como também de rejeitos digeridos em sua totalidade, foram analisados pela técnica de espectrometria de absorção atômica (AAS) utilizando as condições padrões otimizadas e corretor de fundo com lâmpada de deutério. Os metais (Na, Zn, Fe, Ca, Al) foram determinados pela técnica de chama (F AAS), modelo AA1275, da Varian; já os metais (Cr, As, Cd, Pb, Mn, Cu) foram quantificados pela técnica de forno de grafite (GF AAS), modelo AAS-5 da ZEISS, utilizando-se o modificador universal nitrato de paládio/nitrato de magnésio e tubo de grafite com aquecimento transversal (menor absorção de fundo). Na técnica de chama Al, Cr e Ca foram determinados com o uso da chama de óxido nitroso + acetileno. A utilização de duas diferentes técnicas analíticas para análise e determinação desses diversos metais foi realizada em função dos limites de detecção e das concentrações esperadas de cada uma das

espécies químicas (previstas na NBR 10.004 da ABNT e em laudos técnicos realizados pelo LQA-UFES em materiais similares anteriores a presente pesquisa).

Foram obtidas as curvas analíticas com coeficientes de correlação satisfatórios ( $r > 0,999$ ) e as condições otimizadas de trabalho.

Os limites de detecção, apresentados na tabela 12, foram previamente levantados para cada uma dos metais determinados considerando-se igual a três vezes o desvio estimado  $S_{y/x}$  e dividido pela sensibilidade da reta a partir da reta de regressão obtida das curvas de calibração, em ambas as técnicas (SEMACE, 2005).

Tabela 12 - Limites de Detecção ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos métodos por F AAS e GF AAS

Técnica	Cu	Cd	As	Pb	Mn	Cr	Al	Na	Zn	Fe	Ca
GF-AAS	0,0006	0,0002	0,002	0,002	0,0003	0,0004	0,002				
F-AAS N <sub>2</sub> O-acet.						0,04	0,4				0,04
F-AAS ar-acet.								0,005	0,01	0,03	

## 7.7– Análise térmica

Após secas em estufa, a 42 °C, utilizando o mesmo percurso preliminar do ensaio de solubilização, amostras secas de 2,0g de resíduos de serragem de granitos (10 amostras), foram acondicionadas em recipientes previamente limpos, rotulados com identificação peculiar de cada a material e foram encaminhadas ao Laboratório Instrumentação para Petróleo (Labpetro) para serem submetidas à análise térmica (TG e DTG), com o objetivo de gerar dados comparativos com os obtidos no Anexo 2.

As análises foram conduzidas em atmosfera inerte de N<sub>2</sub>, em cadinhos de alumina, no aparelho modelo SDTQ600 do fabricante TA Instruments.

## 7.8 - Difractometria de Raios-X

Aproximadamente 50g de 15 amostras residuais de serragem de granitos e mármore, previamente secas, pela mesma etapa preliminar referente ao ensaio de solubilização, foram encaminhadas, via correio, ao Laboratório de Raio X do CBPF

(Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – Rio de Janeiro) para realização de análises pela técnica de difratometria de raio x.

Para realização das análises já citadas, foram utilizados um gerador de raio x modelo ID 3000, da marca SEIFERT; sistema gerador de difratometria x modelo PORT PRO de fabricante Philips/Panalytical e um difratômetro de alta resolução modelo HZG4 da ZEISS. A fonte de radiação foi uma lâmpada de cobre. Foi realizada uma varredura angular de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  ( $2\theta$ ) com inserções de leitura de 10 em 10 graus.

## 8. Resultados e Discussões

### 8.1 – Avaliação do Processo industrial

No Anexo 1 são apresentadas as empresas e localidades para as quais foram coletadas amostras de rejeitos de serragem de granito e mármore. As coletas foram realizadas nos meses de fevereiro e março de 2008 seguindo a metodologia já citada, ou seja, amostragem no início, meio e fim do processo de corte. Os dados neste anexo foram organizados por empresas beneficiadoras, destacadas por diferentes colorações.

Outra importante informação do Anexo 1 refere-se à origem da lavra das rochas pesquisadas, o que poderá permitir relacionar a composição química dos resíduos gerados com as regiões geológicas de origem (IPT, 1993). Estas rochas possuem uma grande demanda no mercado de construção civil (CHIODI FILHO, 2003), e neste trabalho serão consideradas como rochas clássicas.

No Anexo 2 é apresentada uma planilha de cálculo com a relação de insumos (granalha e cal) e rochas processadas, o que permite prever o volume gerado de lama, relação Kg de cal por m<sup>3</sup> de rejeito e % de Cal e % de Ferro presentes no resíduo seco. Como exemplo de cálculo, temos:

#### **% Cal para o granito Verde Pavão:**

Medida líquida do bloco VP = largura x comprimento x altura =  $2,2 \times 2,85 \times 1,7 = 10,659 \text{ m}^3$

Volume de cada placa = espessura x comprimento x altura =  $0,02 \times 2,85 \times 1,7 = 0,097 \text{ m}^3$

Quantidade de placas obtidas = 73

Volume gerado de placas =  $73 \times 0,097 = 7,07 \text{ m}^3$

Quantidade de resíduo gerado =  $10,659 - 7,07 = 3,59 \text{ m}^3$

Quantidade da cal usada no processo = 278 Kg (*dado fornecido pela empresa*)

Relação Kg cal / m<sup>3</sup> de resíduo = quant. de cal / quant. de resíduo =  $278/3,59 = 78 \text{ Kg/m}^3$

Considerando a densidade média do granito de  $2660 \text{ Kg/m}^3$  (UNESP, 2008), temos:

Então, **% de cal no resíduo seco** = relação massa de cal (kg)/.m<sup>3</sup> de resíduo / densidade do granito.

Este percentual variou de 1,2 a 2,9 % para as rochas amostradas, crescendo na seguinte ordem: VP, BI, PA, AI, ASF e BS. Os demais parâmetros do Anexo 2 (consumo de lâmina e tempo útil da serragem) foram fornecidos pelas empresas.

#### **% Ferro do granito Verde Pavão:**

Consumo total de granalha = (1+7+8) sacos x 25 Kg/saco = 400 Kg

Volume gerado pelo desgaste das lâminas=  
(comprimento útil da lâmina x espessura x desgaste) x número de lâminas  
(4 m x 0,005 m x 0,015 m) x (73 placas + 1) = 0,0222 m<sup>3</sup>

Massa de aço gerado na serragem= volume x densidade= 0,0222 m<sup>3</sup> x 7860 Kg/m<sup>3</sup> = 174 Kg

Massa total (granalha + aço da lâminas) = 574 Kg

Sabendo-se que o teor de ferro na granalha e lâminas são semelhantes e no mínimo 97%:

Relação Kg Ferro / m<sup>3</sup> de resíduo = massa total / quant. de resíduo = 574/3,59 = 160 Kg/m<sup>3</sup>

Considerando a densidade média do granito de 2660 Kg/m<sup>3</sup> (UNESP, 2008), temos:

Então, **% de Ferro no resíduo seco** = Relação Kg Ferro / m<sup>3</sup> de resíduo / densidade do granito = 160 kg . m<sup>-3</sup> / 2660 kg . m<sup>-3</sup> = 6%

Podemos observar no Anexo 2 e Figura 30 que existe uma significativa correlação entre a quantidade de cal e granalha (Fe) usada no processo de serragem dos blocos de granito ( $P=0,047$ ), o que é de se esperar, pois a adição de granalha e cal são função resistência ao corte do bloco rochoso, isto é, quanto maior a resistência à serragem de uma rocha, maiores serão os consumos de cal e granalha. Também a adição de cal é realizada no sentido de se elevar a longevidade das lâminas e da própria granalha. A resistência ao corte dos blocos de granito pode ser avaliada pelo índice de desgaste Amsler (IPT, 1993 e CETEM, 2004), que avalia a perda de material por abrasão, e cujos valores são reportados na Tabela 14. Existe uma boa correlação entre este índice e a quantidade de granalha usada no processo de serragem ( $P=0,092$ ), ilustrada na Figura 31.

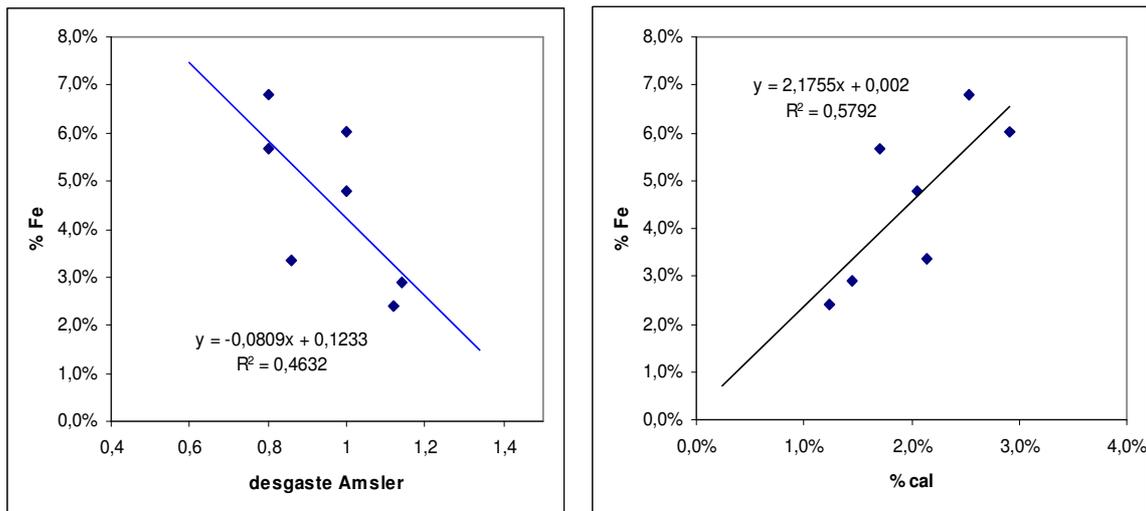


Figura 30 – Correlação entre o desgaste Amsler com os teores de Fe e Cal no rejeito.

Tabela 13 – Desgaste Amsler para alguns Granitos deste Trabalho

Granito	BS	VP	ASF	AI	BI	PA	PSG
Desgaste Amsler (mm)	0,80	1,00	1,12	1,00	0,80	0,86	1,14

Fonte IPT, 1993 e CETEM, 2004.

## 8.2- Teor de Água nas Amostras

No Anexo 3 são apresentados os teores de água obtidos para as amostras de rejeitos após secagem a 42 °C até peso constante (Norma NBR 10006:2004 ABNT), organizados por empresas.

A média global para granito foi de 44,3 % (N=30) com um desvio padrão relativo (RSD) de 13%, o que aponta para um processo industrial de serragem bem uniforme entre as empresas no que tange a quantidade de água utilizada na serragem dos blocos de granito. A média para mármore foi de 17,7 % (N=3), o que é típico para o processo de serragem de rochas macias, dispensando ainda grande parte da cal e granalha utilizada no corte de granitos, em teares convencionais. Desta forma, a lama gerada no corte de mármore é mais concentrada e o processo de corte é mais rápido e de menor custo (GIACONI, 1998).

Algumas empresas têm utilizado filtro prensa (Figura 31) em seu processo produtivo no sentido de diminuir o teor de água final no rejeito gerado, e reutilizar esta água no processo de forma a mitigar seu possível impacto ambiental (item 1.9 do capítulo 1).

Normalmente este teor diminui para 30% ou menos (PREZOTTI et al., 2004). Devido ao alto custo deste sistema a maioria das empresas ainda descarta rejeito em cavas feitas no solo sem qualquer impermeabilização e gestão de recurso hídrico. Foi observado no local que outra forma mais econômica, na gestão da água de processos industriais, denominado de leito de secagem, baseada na disposição dos resíduos misturados em tanques impermeabilizados (concreto ou solo compactado), contendo drenos para escoamento, onde é possível a reutilização da água residual.

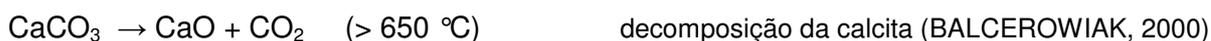


Figura 31- Filtro-prensa em atividade.

### 8.3- Análise Térmica

Podemos observar no Anexo 4, termogramas com uma perda total entre 0,5 a 1,2% em massa, em grande parte devida a desidroxilação do  $\text{Ca(OH)}_2$  oriundo da cal utilizada no processo de serragem ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ ) e também devido a formação de  $\text{CaCO}_3$  gerado na amostra seca em estufa ( $42\text{ }^\circ\text{C}$  – vários dias) resultante da reação da cal hidratada com o  $\text{CO}_2$  atmosférico. A primeira decomposição ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) é observada a partir de  $450\text{ }^\circ\text{C}$  (também observada por FARIAS FILHO et al., 2000 para metacaolinita e AMORIM, 1999 para portlandita) e a segunda decomposição ( $\text{CaCO}_3$ ) a partir de  $650\text{ }^\circ\text{C}$  (p.ex, ADRIANO et al., 2004; ACCHAR et al., 2006). Na verdade, é difícil associar tais transições com compostos

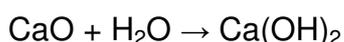
específicos presentes no rejeito de granito única e exclusivamente com o insumo cal (CaO) adicionado na serragem, já que durante a secagem da amostra em estufa, alguns minerais poderiam ser formados, além daqueles presentes nos insumos e na rocha mãe. Abaixo são apresentadas algumas equações referentes a possíveis decomposições. Algumas equações possíveis são descritas a seguir:



A perda total de massa (0,5-1,2 %) nos termogramas avaliados está de acordo com a quantidade de cal virgem utilizada como insumo no processo industrial (item 5.1 e Anexo 2). Portanto, boa parte do decaimento de massa das amostras silicáticas se deve ao insumo cal.

#### 8.4- Análise de pH das Amostras de Rejeito e dos Extratos Solubilizados e Lixiviados

Com a adição de grandes volumes de cal durante o processamento das rochas ornamentais é esperado um elevado pH no rejeito final, como resultado da dissolução da cal hidratada:



O pH aproximado desta reação é:

$$K_{ps} = [\text{Ca}^{2+}].[\text{OH}^-]^2, \text{ considerando } [\text{Ca}^{2+}] = x \quad [\text{OH}^-] = 2x$$

para  $K_{ps} = 5,02 \cdot 10^{-6}$  (CRC Handbook, 2008) temos  $\text{pH} = 12,33$ .

Neste trabalho foi proposta a avaliação do pH no rejeito durante o processo de serragem do bloco rochoso no sentido de investigar uma possível variação deste parâmetro com os insumos (cal e granalha) adicionados. RIBEIRO (2005) relata uma tendência no uso de menor quantidade de insumo na etapa final de serragem devido à maior pressão que as lâminas exercem sobre o bloco rochoso nesta etapa. Não foi

possível avaliar nas visitas aos teares a ocorrência de uma sistematização na diminuição dos insumos (no Anexo 2 a quantidade de sacos de granalha varia, e a quantidade de cal usada durante o processo não foi fornecida, somente a total). Contudo, através de informações obtidas junto ao setor, soube-se que algumas empresas tendem a assumir esta postura. Desta forma, foram coletadas amostras em três momentos diferentes (em geral dia após dia) para avaliação da variação de pH e outros parâmetros químicos. As datas das coletas são apresentadas no Anexo 1.

Na Figura 32 são apresentadas as medidas de pH para os diversos rejeitos originais deste trabalho, em função do momento da serragem [início (1), meio (2) e fim (3)], conforme dados apresentados no Anexo 5. Altos valores de pH foram observados devido à solubilização da cal hidratada (próximo de 12,33). Nota-se em geral que o pH dos rejeitos varia entre as empresas e com o tipo de bloco serrado, e que ainda para o mesmo bloco não há uma tendência evidente de queda ou aumento no pH, como consequência de uma provável não uniformidade no emprego dos insumos (principalmente cal). Este fato dificultou os estudos de correlação entre os parâmetros a serem avaliados com os componentes naturais da rocha e insumos utilizados.

Tal variabilidade pode ser atribuída à falta de uniformidade no processo industrial (Figura 32), onde não existe um registro adequado da quantidade de insumos durante o processo, que fica dependente da experiência e da capacidade de percepção dos encarregados do corte (RIBEIRO, 2005).

Mesmo com a intensa pressão no setor exercida pelo IEMA, não há outro parâmetro de monitoramento do teor de cal a ser aplicado, a não ser o de viscosidade, que peca pela incapacidade de avaliar o pH da lama abrasiva, e para piorar, o instrumento de avaliação de viscosidade (viscosímetro) não é confiável, dada a improvisação e a falta de instrumentos calibrados.

É fato que os pH's dos rejeitos eliminados na espurga de cada tear amostrado, em geral está muito elevado, devendo ocasionar solubilizações de espécies químicas indesejáveis (SKOOG, 2006). Isto parece ser confirmado quando comparamos os

teores de cromo total<sup>6</sup> (item 5.4) com os de pH para as amostras de rejeitos, tendo-se obtido boas correlações (Figura 33).

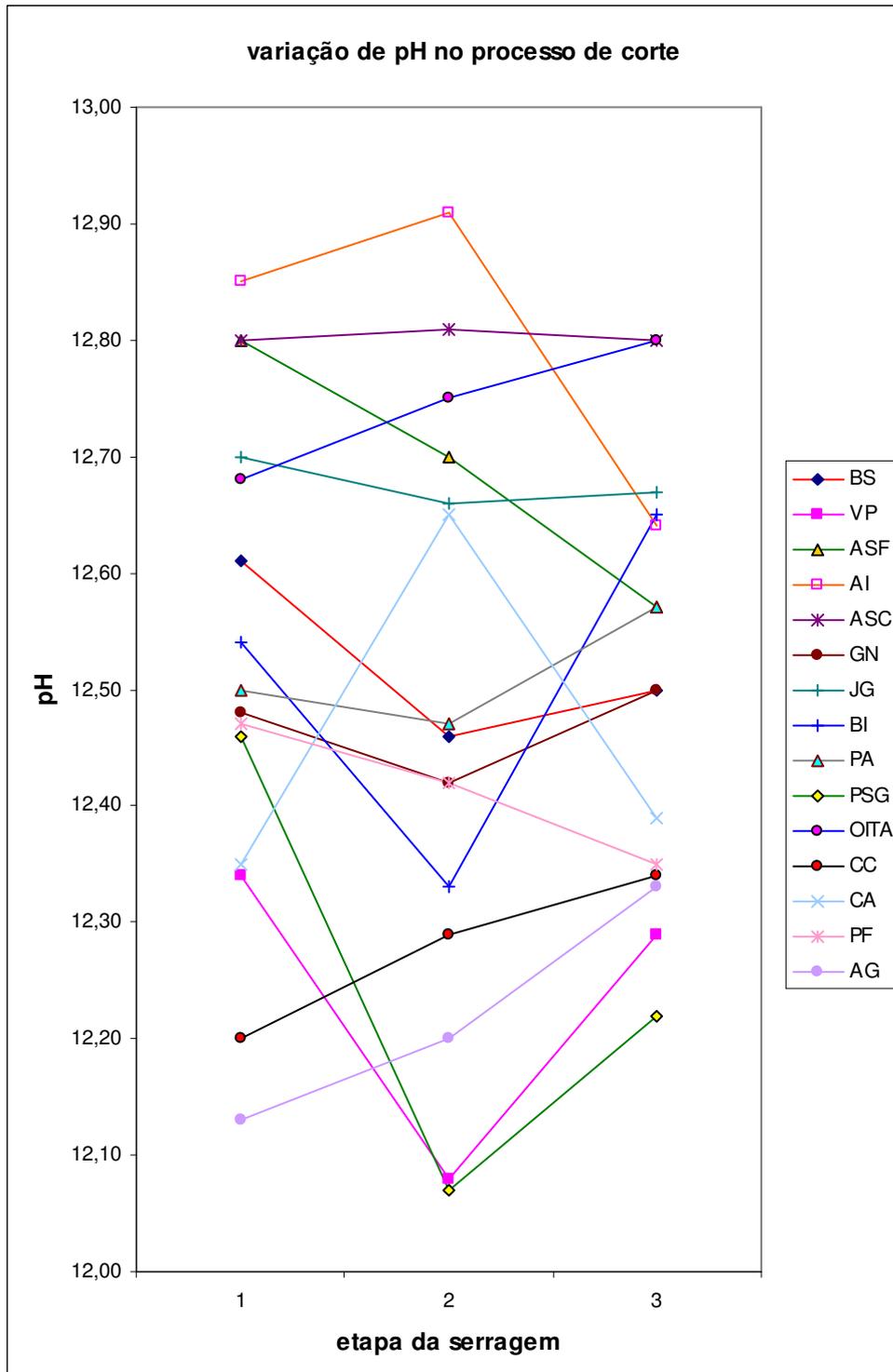


Figura 32 - Avaliação do pH original das amostras por etapa de serragem, de diferentes resíduos segregados de rochas ornamentais silicáticas (as siglas das rochas podem ser identificadas no anexo 1).

<sup>6</sup> Teor referente a abertura total efetuada em amostras residuais conforme item 11.5.

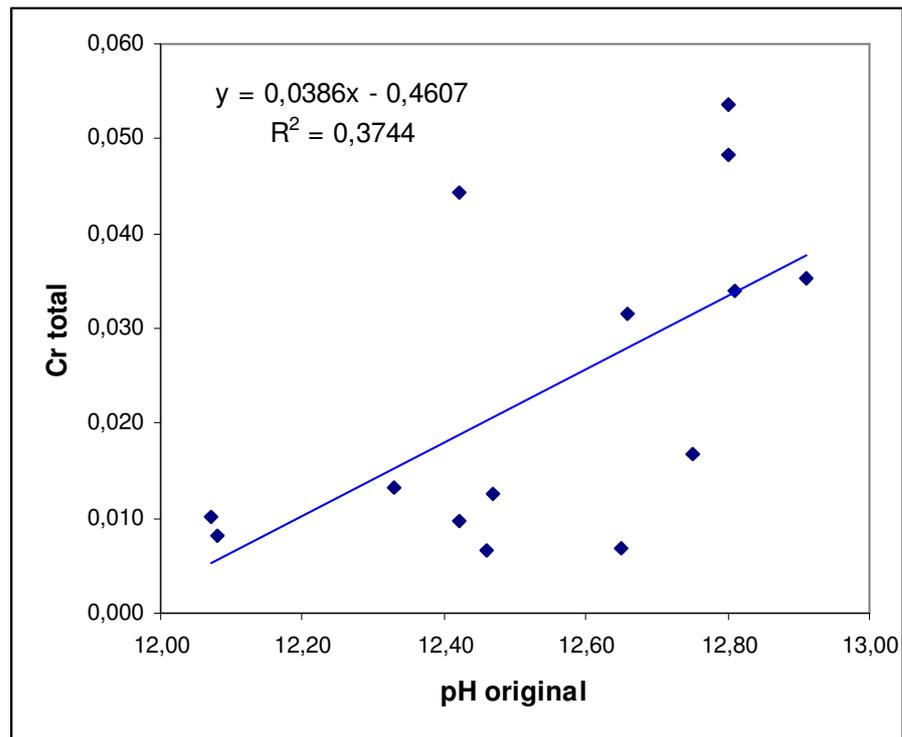


Figura 33 – Correlação entre cromo total e pH das amostras originais de rejeito de granito.

## 8.5 - Análise Qualitativa por Difração e Raios-X dos resíduos

No sentido de garantir uma melhor associação dos metais avaliados com os resíduos originais, foi realizada a análise difratométrica para algumas amostras de rejeitos.

Foram obtidos diversos picos nos difratogramas apresentados no Anexo 6. Uma avaliação simplificada aponta para a presença de picos de quartzo, albita e biotita. O pico da biotita em  $8,862^\circ$  é importante para as rochas Cinza Andorinha, Preto Florido, Preto São Gabriel e Preto Aracruz, o que está de acordo com o alto teor de biota (de 15 a 20%) encontrado nestas rochas (Tabela 4).

É interessante observar no Anexo 6 (1) que os materiais amarelos (ASF, AI, ASC e GN) apresentam formas qualitativas de minerais tais como: biotita ( $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), ortoclásio ( $\text{K,AlSi}_3\text{O}_8$ ) e albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) que ratifica a determinação química obtida na análise por absorção atômica em amostras de extratos solubilizados, como o sódio (Na) e o Alumínio (Al), mas não é conclusiva sobre a origem mineral do cromo (Cr) solubilizado e total, presente principalmente

nesses materiais. Relativamente ao Na, é interessante lembrar que a água utilizada no processo produtivo é fortemente salobra, o que deve estar colaborando também para os elevados índices encontrados em relação a este parâmetro químico.

Nos materiais escuros VP, PA, PSG e PF, a biotita é marcante sendo provavelmente responsável maior pela pigmentação preta ou escura.

Todos os materiais graníticos, inclusive os provenientes de Cachoeiro de Itapemirim e Castelo(CA, OITA, CC), são fortemente compostos de quartzo, como esperado para este tipo de rocha, mas é importante salientar que no OITA a presença de ortoclásio é mais marcante do que o próprio quartzo, devendo ser responsável pela leve tonalidade marrom desse material.

Também surpreende a detecção do mineral augita ( $\text{Ca}(\text{FeMg})\text{Si}_2\text{O}_6$ ), uma espécie química ferromagnésiana silicática, porém, não prevista na composição mineralógica consultada de materiais escuros ou pretos.

Já os materiais carbonáticos apresentam uma presença marcante de minerais magnesianos ( $\text{Ca},\text{MgCO}_3$  e  $\text{Ca},\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$ ) e também calcítico ( $\text{CaCO}_3$ ), confirmando as expectativas de elevado potencial de reciclagem, quando segregado.

## 8.6 – Teores Totais de Metais nas Amostras de Rejeito Originais

No sentido de aumentar as informações sobre o rejeito original proveniente do corte dos blocos de granito, os teores de alguns metais foram determinados por F-AAS após abertura total das amostras secas em estufa (42 °C) com uma combinação de ácidos e peróxido de hidrogênio (conforme metodologia). Estes resultados são apresentados na Tabela 15.

Boa correlação também é observada entre Fe e Ca total nos rejeitos (Tabela 16), confirmando a introdução combinada destes dois insumos durante o processo de serragem dos blocos de granito (vide também Figura 34), visando a redução da corrosividade das lâminas e da própria granalha. Correlação significativa também foi observada para Cr total e pH original, conforme supracitado.

Contudo, não são observadas correlações entre alumínio e cálcio totais em relação à composição total dessas duas espécies químicas presentes no resíduo, já que os mesmos são componentes dos minerais majoritários presentes nas rochas

graníticas e no insumo utilizado na manufatura das mesmas, respectivamente, em estudo (p.ex, feldspatos plagioclásios).

Tabela 14 – Teores Totais de Metais e pH das Amostras Originais de Rejeito

amostra	etapa	% Al	% Fe	% Cr	% Ca	pH original
BS	2	4,4	3,3	0,007	1,9	12,46
VP	2	6,5	6,7	0,008	3,3	12,08
ASF	1	4,9	10,0	0,054	4,7	12,80
AI	2	5,1	5,6	0,035	2,6	12,91
BI	2	4,2	6,0	0,013	2,1	12,33
PA	2	2,7	6,6	0,013	4,3	12,47
PSG	2	5,0	8,1	0,010	5,7	12,07
OITA	2	4,5	9,2	0,017	3,8	12,75
ASC	1	5,2	6,5	0,048	2,4	12,80
ASC	2	5,0	4,8	0,034	2,2	12,81
GN	2	5,1	6,5	0,044	2,4	12,42
JG	2	4,1	6,5	0,032	2,9	12,66
CA	2	5,3	6,3	0,007	3,1	12,65
PF	2	8,8	8,0	0,010	6,8	12,42
<b>média</b>		<b>6,6</b>	<b>6,5</b>	<b>0,010</b>	<b>4,0</b>	
SMO	-	0,13	0,1	<0,001	25,5	
MBC	2	0,10	9,4	0,028	21,1	11,26
PVC	2	0,04	1,7	0,002	23,0	10,67

Tabela 15 – Correlações de Pearson de pH com Teores Totais de alguns Metais nos Rejeitos Secos.

		Al total	Fe total	Cr total	Ca total
Fe total	R	,200			
	Sig.	,492			
	N	14			
Cr total	R	-,123	,203		
	Sig.	,676	,487		
	N	14	14		
Ca total	R	,389	,696(**)	-,236	
	Sig.	,169	,006	,416	
	N	14	14	14	
pH original	R	-,190	-,004	,617(*)	-,304
	Sig.	,515	,990	,019	,291
	N	14	14	14	14

\* Correlação é significativa para o nível de 0.05 (teste bi-caudal).

\*\* Correlação para o nível de 0,01 (teste bi-caudal).

R- coeficiente de Pearson

Sig – significância

N – população total analisada.

## 8.7 - Análise de metais e pH após procedimento de lixiviação e solubilização

No Anexo 7 e 8 são apresentados os resultados das análises de metais e pH para os extratos solubilizados e lixiviados, conforme norma ABNT NBR 10005 e 10006, para todas as amostras até o momento processadas, incluindo as amostras por etapa de serragem (1, 2 e 3) e as réplicas no processo de solubilização (a e b).

Os teores de metais estão em geral abaixo das normas (Tabela 12), com exceção de alumínio e cromo, que são altos nos extratos solubilizados para algumas amostras ( $Al > 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $Cr > 0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Tal comportamento para a espécie química Al também foi observado por outros autores em rejeitos misturados (MOURA et al., 2002; PONTES e STELLIN JUNIOR, 2005). O alto valor de pH dos extratos solubilizados (Anexo 5) favorece a formação de hidróxidos complexos destes dois metais (MOREL and HERING, 1993).

É possível que equilíbrios químicos, conforme equações (1) e (2) a seguir, existentes naturalmente em rochas ígneas e metamórficas, sejam afetados pelo excesso de insumo alcalino (cal) (ALBERÈDE, 2003).



Fonte: ALBERÈDE, 2003.

Neste caso, elevadas concentrações de  $\text{OH}^-$ , ocasionadas pelo excesso de cal (insumo de serragem), deslocariam o equilíbrio químico da caulinita no sentido da solubilização de complexos de alumínio ( $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ) (Equação 2), o que pode justificar as elevadas concentrações de alumínio no extrato solubilizado de resíduos de serragem de alguns materiais estudados, no Anexo 7.

O teor destes metais no extrato lixiviado é menor devido ao pH final ser menor (após a etapa de lixiviação com tampão HAc/NaAc  $\text{pH} = 4,93 \pm 0,05$ ).

Não foi possível estabelecer até o presente momento qualquer relação entre os teores de metais com os extratos solubilizados e lixiviados das amostras de rejeitos segregados em função da etapa de serragem (início, meio e fim). Parece haver uma

variabilidade nos resultados provenientes do processo industrial e das incertezas inerentes ao processo analítico.

Na Tabela 16 são apresentadas correlações do pH original do rejeito com outros parâmetros avaliados (pH do extrato lixiviado, solubilizado e metais nestas soluções), extraídos dos Anexos 5 e 6. Na Figura 34 importantes correlações observadas são apresentadas graficamente, relacionando pH com alguns metais.

Correlações significativas foram obtidas entre o pH original dos rejeitos e pH dos extratos obtidos, principalmente para o solubilizado, que está relacionado diretamente ao pH das amostras de rejeito originais ( $P=0,001$ ) (na lixiviação o pH não aumenta muito porque é tamponado pelo sistema HAc/NaAc).

Tabela 16 – Correlações de Pearson entre os principais parâmetros analisados

		Na sol.	Cr sol.	Al sol.	Ca sol.	Cr lix.	Ca lix.	Al lix.	pH orig.	pH sol.
Cr sol.	R	,478(*)								
	Sig.	,010								
	N	28								
Al sol.	R	,637(**)	,892(**)							
	Sig.	,003	,000							
	N	20	21							
Ca sol.	R	,138	,095	,224						
	Sig.	,474	,617	,292						
	N	29	30	24						
Cr lix.	R	-,327	-,304	-,194	,164					
	Sig.	,390	,312	,545	,651					
	N	9	13	12	10					
Ca lix.	R	,669(*)	,213	,119	-,353	-,056				
	Sig.	,024	,446	,686	,237	,805				
	N	11	15	14	13	22				
Al lix.	R	-,228	-,196	-,165	-,352	,621(**)	-,302			
	Sig.	,527	,484	,589	,238	,005	,134			
	N	10	15	13	13	19	26			
pH orig.	R	,564(**)	,675(**)	,489(*)	-,175	-,067	,650(**)	-,159		
	Sig.	,010	,001	,047	,448	,778	,000	,458		
	N	20	22	17	21	20	26	24		
pH sol.	R	,731(**)	,660(**)	,804(**)	,144	-,466	,776(**)	,131	,713(**)	
	Sig.	,000	,000	,000	,474	,206	,008	,718	,000	
	N	27	27	18	27	9	10	10	20	
pH lix.	R	,610(*)	,661	,148	-,507	-,435	,671(**)	,001	,489(*)	,889(**)
	Sig.	,035	,053	,663	,077	,120	,002	,998	,018	,001
	N	12	9	11	13	14	19	16	23	10

\* Correlação é significativa para o nível de 0.05 (teste bi-caudal).

\*\* Correlação para o nível de 0,01 (teste bi-caudal).

R- coeficiente de Pearson

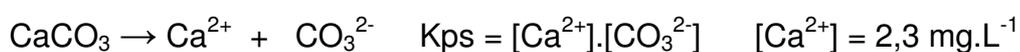
Sig – significância

N – população total analisada.

Também os pH's das amostras de rejeitos e de suas soluções solubilizadas (Figura 34) estão intimamente relacionados com outros parâmetros. Sódio adviria das impurezas dos insumos utilizados (água e cal) e de possíveis frações minerais solúveis em meio aquoso, enquanto cromo e alumínio de seus hidróxicomplexos em meio básico, ambas as espécies químicas originadas de minerais presentes nas rochas serradas.

É notável observar a baixa correlação de cálcio na solução solubilizada com o pH, explicada pela formação de  $\text{CaCO}_3$  (cal +  $\text{CO}_2$  do ar) durante a obtenção da amostra seca em estufa. Ou seja, o resíduo tende a ficar menos básico com a carbonitização do hidróxido de cálcio presente no mesmo, gerando um resíduo mais insolúvel e menor teor de cálcio no extrato solubilizado.

Devido aos menores teores de alumínio extraídos, este apresenta ainda uma satisfatória correlação com o pH da solução final solubilizada, que ainda é básico (pH  $\approx$  10,35, Anexo 5). Modelagem computacional sobre a especiação química destas soluções poderia ser engendrada a fim de corroborar tais conclusões (JESUS, 1996). Contudo, um cálculo simples acerca da solubilidade de cálcio a partir de  $\text{CaCO}_3$  ( $K_{ps} = 3,36 \cdot 10^{-9}$ , CRC Handbook, 2008) resultaria:



valor semelhante aos encontrados para a maioria dos extratos solubilizados do Anexo 7.

Este cálculo é aproximado, pois como discutido no item 5.2 os termogramas apontam para a mistura de  $\text{Ca(OH)}_2$  e  $\text{CaCO}_3$  no resíduo seco em estufa, ou seja, durante a obtenção do resíduo seco nem todo hidróxido de cálcio é convertido em carbonato. Algumas amostras de granito apresentaram expressivos valores de cálcio no extrato lixiviado (Verde Pavão, Preto Aracruz e Preto Florido) provavelmente devido a presença de minerais acessórios em alta concentração (KRAUSKOPF, 1995). Na Tabela 4 podemos observar alto teor de andesina (feldspato plagioclásio com relevante teor de anortita –  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) associados a estas rochas escuras.

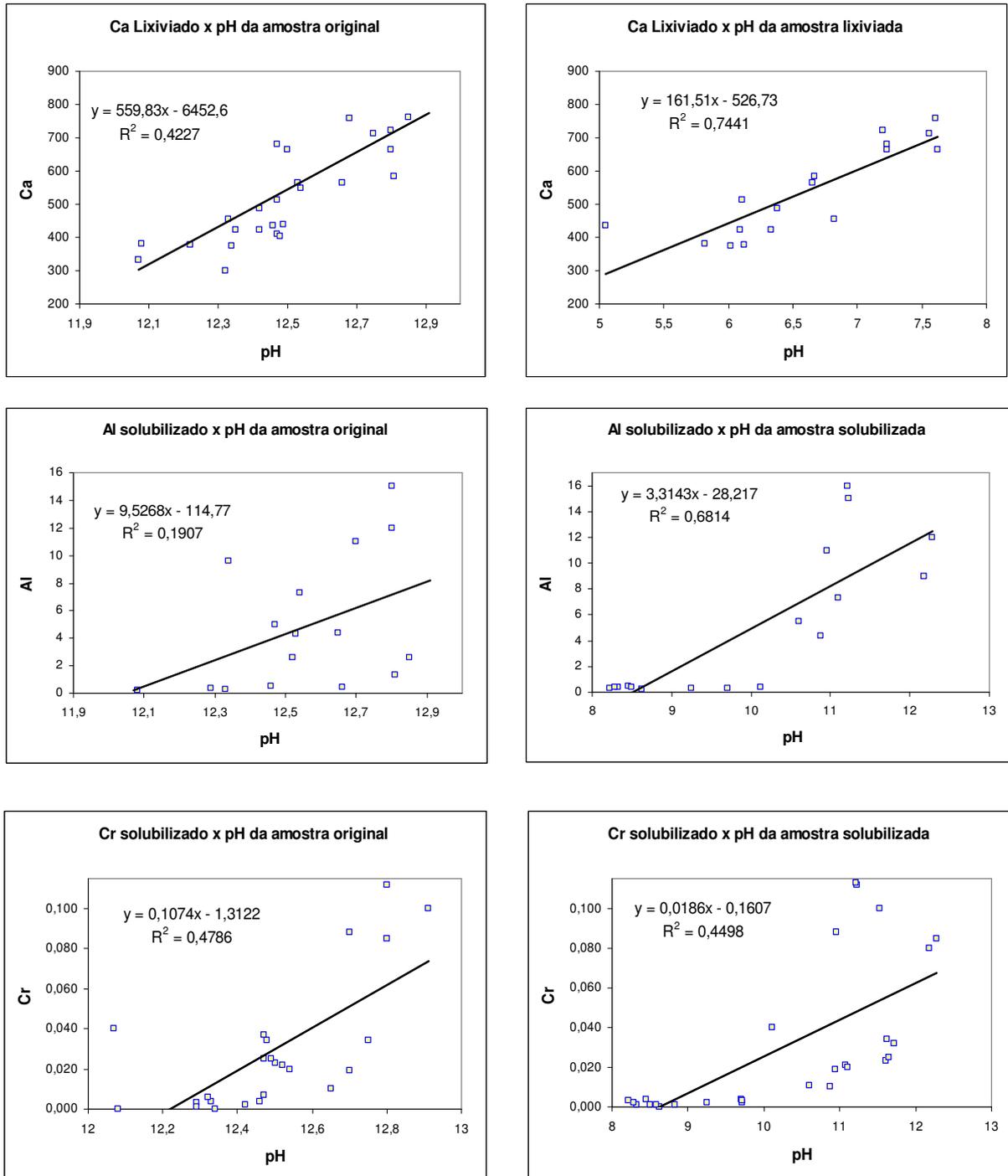


Figura 34 – Gráficos de correlações significativas entre pH de amostras e metais analisados.

Ainda com relação ao cálcio, seus teores são bem maiores no extrato lixiviado (entre 300 e 800 mg.L<sup>-1</sup>) devido a total dissolução do Ca(OH)<sub>2</sub> e CaCO<sub>3</sub> em meio ácido (pH de partida ≈ 4,9). Por outro lado, o menor teor de alumínio no extrato lixiviado pode ser devido a maior solubilidade deste elemento em meio básico (pH final > 10,

Anexo 5) e à maior relação de extrato solubilizado (250 g de sólido seco para 1 L de solução) quando comparado ao extrato lixiviado (100 g de sólido úmido para 2 L de solução). Ou seja, além do fator de 5 vezes mais diluído na relação sólido/água, o extrato lixiviado utiliza resíduo úmido (obtido por filtração) com um percentual de uns 17% em água (conforme Anexo 9).

A expressiva correlação de alumínio solubilizado com o pH (original  $P=0,047$  e solubilizado  $P<0,001$ ) é patente, conforme já comentado. Também existe uma expressiva correlação entre Cr e Al ( $P=0,005$ ), ambos lixiviados, evidenciando a fraca solubilidade destes metais em meio ácido.

As correlações entre os diferentes pH's (original, solubilizado e lixiviado) são esperadas, pois não há como dissociá-las nesta abordagem. Se o pH original é elevado, os pH's dos extratos solubilizados e lixiviados também o serão, guardadas as devidas proporções.

## 9- Conclusões

Neste trabalho foi possível coletar diversos tipos de amostras de granito e de mármore, de empresas diferentes e distintas regiões geológicas, o que aponta para uma possibilidade de avaliação da uniformidade no processo de beneficiamento de rochas ornamentais.

Os processos de manufatura avaliados, com a utilização de teares multilâminas, apontam para perdas 35 a 45% de matéria-prima rochosa. Dado o elevado custo de tecnologias mais modernas de serragem de rochas e a tendência atual de queda nas exportações, pode-se concluir que o investimento em modernizações de equipamentos será afetado, portanto, medidas relativas ao gerenciamento sustentável de resíduos de serragem devem ser tomadas o mais rápido possível. A geração de resíduos é potencializada pela adição, aparentemente desuniforme, de insumos abrasivos.

É fundamental que se associem parâmetros tecnológicos tradicionais de rochas com outros já existentes, não utilizados neste setor produtivo, como o monitoramento do pH dos rejeitos e de teores metálicos. Mais informações tendem a facilitar o processo de gerenciamento da geração e destinação de resíduos de serragem da indústria de rochas ornamentais.

Com uma média de 44,3% e um desvio padrão de 13%, o setor de rochas ornamentais parece apresentar uma coerência pelo menos no consumo de água no processo de serragem, embora este teor sugira uma demanda altíssima de água no beneficiamento de rochas.

Apesar dessa relativa uniformidade do volume consumido de água nos processos de serragem de rochas, este recurso ainda é utilizado de forma pouco sustentável, principalmente por empresas de médio e pequeno porte. O elevado custo de novas tecnologias, como o filtro-prensa e o fato da redução notável da alcalinidade do resíduo, devido à formação de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), quando este é disposto em grandes superfícies de contato e condições de temperatura elevada, podem dirigir o setor a tomar medidas mais econômicas e eficazes em curto prazo, em busca da gestão adequada do recurso hídrico. Nesse sentido, os leitos de secagem parecem representar uma boa alternativa.

A boa correlação entre o desgaste de Amsler e o teor de granalha, e deste com o teor de cal, aponta para uma excessiva utilização de cal em busca do aumento da vida útil das lâminas utilizadas na serragem de blocos. O desgaste de Amsler é um parâmetro interessante em se tratando da avaliação da dureza de um material rochoso.

Os resultados da análise térmica (TG e DTG), bem como os teores totais de cálcio e ferro para os rejeitos de granito foram concordantes com as informações de funcionários das empresas acerca da quantidade de insumos (cal e granalha), utilizada no processo de serragem. Nos termogramas duas zonas de decomposição foram observadas, provavelmente devido a  $\text{Ca(OH)}_2$  e formação de  $\text{CaCO}_3$ .

Além de confirmar as dosagens utilizadas de cal no processo de serragem, a análise térmica (TG e DTG) também revelou a necessidade de se fazer um estudo de especificação química junto aos compostos de cálcio, presentes nos resíduos de serragem. Além disso, a TG enfatiza ainda mais a necessidade de disposição dos resíduos de serragem em grandes superfícies de contato para favorecer a conversão do de hidróxidos em carbonatos metálicos, conforme dito anteriormente.

Levando em conta a NBR 10.004:2004 da ABNT, algumas das amostras de resíduos analisadas (vide Anexo 5) apresentaram pH's maiores do que 12,5, o que já é suficiente para caracterizá-los como resíduos perigosos (Classe I) e portanto corrosivos.

A avaliação do pH nos diferentes momentos da serragem de blocos graníticos revelou uma extrema heterogeneidade dos processos industriais amostrados, visto que mesmo para materiais de uma mesma empresa e em geral, não foram detectadas tendências de elevação ou decréscimo de alcalinidade nos resíduos. Como este parâmetro está intimamente ligado à cal utilizada no referido processo (demonstrado através de estudos de correlação), fica evidente que neste quesito, as empresas adotam critérios de difícil análise científica. A impressão é de que as medidas de viscosidade da lama, normalmente realizadas durante o processo de serragem, não são suficientes para avaliar tendências químicas no rejeito gerado.

A inserção de cal no processo de serragem de blocos rochosos está diretamente ligada alta basicidade do resíduo. Tal fato é confirmado quando se observam

correlações significativas entre o Ca no extrato lixiviado e o pH original das amostras graníticas.

A solubilização de Al e Cr, detectada em algumas amostras (vide Anexo 7), deve-se a provável formação de hidróxicomplexos solúveis dessas espécies metálicas, acentuada no intervalo de pH de 12,3 a 12,7 e corroborada por boas correlações entre o teor de cromo total e o pH original de rochas silicáticas, relacionadas com a elevado pH da lama residual abrasiva. Em relação ao Al, os resíduos de serragem de VP, AI e ASC, provenientes de jazidas da microrregião de Nova Venécia e adjacências, são classificados como não perigosos e não inertes (Classe IIA). Também no caso do Cr, as rochas provenientes da mesma microrregião, certamente mais ricas em minerais de cromo, apresentaram índices preocupantes relativamente a este metal. O resíduo proveniente do corte dessas rochas de tonalidade amarela (ASC, ASF, AI) e submetidos ao ensaio de solubilização, em função dos resultados apresentados no referido anexo, são classificados como não perigosos e não inertes (Classe IIA). Esta tendência expõe a necessidade proposta anteriormente, neste trabalho, de condicionarmos a adição de insumos abrasivos na serragem à observação das características geoquímicas das rochas e não apenas o parâmetro viscosidade, como é feito atualmente.

Os demais resíduos estudados, ainda de acordo com a NBR 10.004:2004 da ABNT, são classificados como não perigosos e inertes (Classe IIB).

A análise qualitativa, que foi proposta com o intuito de esclarecer quais os minerais relacionados às espécies químicas Al e Cr, que apresentaram solubilidade elevada em algumas amostras residuais, que poderiam fornecer subsídios para a montagem de equações químicas que explicassem esse processo de solubilidade, foi conclusivo apenas para Al, que revelou estar presente em alguns importantes minerais encontrados na composição de rochas silicáticas. Com relação ao Cr, é possível que o banco de dados de consulta para minerais utilizado seja obsoleto para tais estudos qualitativos. Mesmo assim, também nesta proposta, haveria a necessidade de estudos de especiação química, que seriam de grande valia na proposição de equações químicas esclarecedoras, quanto ao estudo de solubilidade das espécies Al e Cr. Contudo, a análise por difratometria de raios-X mostrou-se eficaz na elucidação de minerais responsáveis pela tonalidade escura de algumas rochas estudadas (PSG, PF e PA) e na ratificação da proposta de segregação, pelo

menos em nível de rochas silicáticas de carbonáticas, num primeiro momento, pois as concentrações majoritárias de minerais carbonáticos de alto valor industrial expõem uma inevitável agregação de valor e aplicabilidade aos resíduos carbonáticos.

Com os dados de metais já levantados, não foi possível estabelecer de forma inequívoca uma relação clara dos teores de metais com o processo de serragem (início, meio e fim), parecendo haver uma variabilidade expressiva nas concentrações dos metais avaliados, semelhante ao pH. Também não foi possível inferir uma clara relação destes teores com o tipo de rocha serrada, exceto para cálcio, relacionados possivelmente com a maior presença de feldspatos e minerais como a augita, já mencionados.

Finalmente, o resíduo de corte de mármore, aparentemente é muito menos agressivo do que o de granitos, devido ao menor teor de cal e granalha utilizadas na serragem.

Tendo em vista todos os resultados obtidos e analisados, é possível vislumbrar limites claros delineados para o presente trabalho. Tais limitações resultam nas seguintes sugestões de trabalhos que poderiam complementar a presente dissertação relativamente à área de gerenciamento de resíduos sólidos da indústria de rochas ornamentais:

- Avaliação da velocidade e sentido de percolação de rejeitos do setor, quando dispostos em valas diretamente no solo (estudos de perfil de solo, pH, análise química e correlatos);
- Estudos de especiação química relativamente aos compostos de cálcio, alumínio e cromo, presentes nos resíduos de serragem de rochas silicáticas;
- Estudo da agregação de valor econômico a resíduos silicáticos e carbonáticos, quando estes são segregados;
- Otimização da quantidade de insumos utilizados durante o corte de blocos de granito e mármore a fim de minimizar o pH final do rejeito e o teor de metais obtidos pelo procedimento de lixiviação e solubilização pertinentes.

## 10- Referências

AGÊNCIA DE FOMENTO DO ESTADO DA BAHIA - AFEB, **A indústria de rochas ornamentais, Estudo de Mercado 02/04** 2004. Disponível em: <[http://www.desenbahia.ba.gov.br/recursos/news/video/%7B3FC152B1-BEAA-ED5-B748-C370C1559F4B%7D\\_Rochas\\_ornamentarias.prn.pdf](http://www.desenbahia.ba.gov.br/recursos/news/video/%7B3FC152B1-BEAA-ED5-B748-C370C1559F4B%7D_Rochas_ornamentarias.prn.pdf)>. Acesso em: 02/03/2008.

ALBERÈDE, F. **Geochemistry – an introduction**, First Ed. Edinburg: United Kingdom at the University Press of Cambridge, 2003.

ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. L. C. **Estudo econômico sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento**, v.3, Fortaleza: IEL/FIEC, 1996.

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de São Antônio de Pádua-RJ**, Série Rochas e Minerais, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

ARNAVAT, Antonia Rigo; DUEÑAS, Gabriel Genescà. **Métodos de pesquisa – como elaborar e apresentar teses e trabalhos de pesquisa**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

ARTUR, A. C.; MEYER, A. P.; WERNICK, E. **Características tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização**, In: I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais; II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais... Salvador, 28 nov. – 01 dezembro, Museu Geológico da Bahia, 2001. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 13 – 19.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS, **Balanco das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2007**, Informe 01/2008, Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em: 08/04/2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos: classificação, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.

AZEVEDO, Fausto A.; CHASIN, Alice A. M.; **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**, Rio de Janeiro: Rima e Intertox, 2003.

BAPTISTA, Cyro F. N. **Pavimentação – Compactação dos solos no campo, camadas de base, estabilização de solos**. Tomo 2, 2 ed., Ed. Globo, Porto Alegre, 1976.

BOM DIA BRASIL, Crianças sofrem com a poeira de minérios em Itaoca-Pedra, Bom Dia Brasil, Rio de Janeiro, 22/05/2008, Bom Dia Brasil Impresso, Disponível em: <[http://bomdiabrasil.globo.com/java/jornalismo/bomdia/cda/artigo/glb\\_bdbr\\_versao\\_imprensa](http://bomdiabrasil.globo.com/java/jornalismo/bomdia/cda/artigo/glb_bdbr_versao_imprensa)>, Acesso em: 30/07/2008

BON, Ana Maria T.. **Exposição ocupacional à sílica e silicose entre trabalhadores de marmorarias, no município de São Paulo**. Tese de doutorado apresentada ao Depto. de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2006.

Brady, Nyle C.; **Natureza das propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989.

BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357, de 17/033/2005. Estabelece a classificação das águas e os níveis de qualidade exigidos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 15 outubro 2007.

BRASIL – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 344, de 23/03/2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e da outras

providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34404.xml>> Acesso em: 15 outubro 2007.

BRASIL, Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Brasília, 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/gab/asin/lei.html>. Acesso em: 7 junho 2008.

CARANASSIOS, A.; **Minerais e rochas industriais**, Série Rochas e Minerais Industriais, Rio de Janeiro: CETEM, 2001. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br>>. Acesso em 10 abril 2008.

CASARINI, Dorothy C. P. et al. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo** – São Paulo: CETESB, 2001.

CIMINELLI, R. Rochas e minerais industriais. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; MATOS, G. M. M.; CASTILHOS, Z. C. (Eds.). **Tendências tecnológicas Brasil 2015: geociências e tecnologia mineral**, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 175 - 190.

CHIODI FILHO, Cid, et al. **A expressão brasileira no setor de rochas**, Pedras do Brasil, São Paulo, V. 23, n. 9, p. 48-52, 2003.

CHIODI FILHO, Cid. **A cadeia produtiva de rochas ornamentais**. In: Seminário Nacional PREVENÇÃO E CONTROLE DA EXPOSIÇÃO AOS AGENTES AMBIENTAIS EM MARMORARIAS: DA PESQUISA À PRÁTICA, 2008, São Paulo: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS, 2008. Fundacentro.pdf.

CHIODI FILHO, Cid, et al. **Panorama técnico-científico do setor de rochas ornamentais no Brasil**, Geociências, São Paulo, V. 23, n. 1/2, p. 5-20, 2004. Disponível em: <<http://www.scirus.com/locate>>. Acesso em 10 fevereiro 2008.

CHIODI FILHO, Cid. **Situação e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento**. In: I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais; II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais... Salvador, 28 nov. – 01 dezembro, Museu Geológico da Bahia, 2001. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 2 – 12.

CIENTIFUEGOS, Freddy. **Estatística aplicada ao laboratório**, Rio de Janeiro: Interciência Ltda, 2005.

Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil : texto, mapas & SIG**, 2003, 692 p.

**CRC Handbook of Chemistry and Physics**. 88 ed., New York: CRC Press, 2008.

DANA, James D.; **Manual de mineralogia**, , 1Ed., 9ª tiragem, São Paulo: LTC – Livros técnicos e científicos ed., 1984.

EVANS, Peter H.; Nutrient and toxin interactions in neurodegenerative disease. **Proceedings of the nutrition society**, 1994, 53. p. 431 – 442.

DIAS, Tiago. **Prensando para filtrar**. Revista Meio Filtrante, Ano V, 25 ed., Março – Abril, São Paulo: 2005. Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=283>

FIORILLO, Celso A. P. **Curso de direito ambiental brasileiro**, 7 ed. Revisada, São Paulo: Saraiva,2006.

FONSECA, Maria Helena Gomes Pereira. **Aplicação de resíduo oleoso das atividades de exploração e produção de petróleo, na manutenção de estradas de terra – enfoque ambiental**: 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

GIACONI, Wagner J.; **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES)**, 1998. Dissertação de Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Administração e Política de Recurso Minerais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

GILBERTONI, Claudia. **Desenvolvimento de um novo fundente para substituir o feldspato em composições de grês porcelanato**: 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

GONÇALVES, Jardel P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**: 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

GRIGORIEFF, A.; COSTA, J.F.C.L. & KOPPE, J. **O problema de amostragem manual na indústria mineral**. REM: Revista Escola de Minas, vol. 55, nº 3, p. 229-233, jul/set, 2002.

GUERRA, A. T.; **Dicionário geológico – geomorfológico**, 8 ed., Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo – IDAF. **Mapa regional do município de Cachoeiro de Itapemirim**. 2006. Disponível em: <[http://www.es.gov.br/site/Espirito\\_santo/index.aspx](http://www.es.gov.br/site/Espirito_santo/index.aspx)> Acesso em: 07/07/2008.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo**: Catálogos I – Fábio Conrado de Queiroz et al – Ely Borges Frazão Coordenador. Vitória, 1993.

Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN. **Mapa da Divisão político-administrativa do estado do Espírito Santo**, 2006. Disponível em: <[http://www.es.gov.br/site/espírito\\_santo/index.aspx](http://www.es.gov.br/site/espírito_santo/index.aspx)> Acesso em: 07/07/2008.

JESUS, H. C.; **Especiação aquosa e importância da fase particulada no comportamento hidrogênioquímico de U, Th e terras raras na mina de urânio e Morro do Ferro, Poços de Caldas**. 1996. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Programa de Pós-Graduação da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

KRAUSKOPF, Konrad B. **Introduction to geochemistry**, 3 ed., Singapura: MacGraw-Hill International, 1995.

LEINZ, Viktor; AMARAL, Sérgio E. **Geologia geral**, 14 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003.

LONGHAI, Informativo técnico de produtos metálicos, Informativo comercial. Disponível em: [www.longhai.com](http://www.longhai.com). Acesso em: 12 setembro 2007.

LORENZONI, D. I. **Tijolos prensados produzidos com resíduos sólidos industriais: uma caracterização segundo a NBR 10.004: 2004 da ABNT: 2005**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

MILLOVSKY, A. V., KONONOV, O. V.; **Mineralogy**, 2 ed., Moscou: Mir Publishers Moscow, 1985.

MONTANI, Carlo. **Repertorio Economico Mondiale**. 2001. STONE 2001, citado por Chiodi Filho, C. In: I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais; II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais... Salvador, 28 nov. – 01 dezembro, Museu Geológico da Bahia, 2001. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 2 – 12.

MORAES, Ingrid V. M.; **Mármore e granito: lavra, beneficiamento e tratamento de resíduos**, Dossiê Técnico, Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2006.

MOREL, F. M. M. and HERING, J.G.; **Principles and applications of aquatic chemistry**, New York: Jon Wiley & Sons, 1993.

MOTHÉ FILHO, Heitor F., POLIANOV, Helena, BARROSO, Emílio V.; Thermal and mechanical study from granite and marble industry reject, **Thermochimica Acta**, Rio de Janeiro, 392 – 393, p. 47-50, Agosto. 2001. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/tca>>. Acesso em 10 julho 2008.

MOURA, W. A., GONÇALVES, J. P., LEITE, R. S. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso**, Sientibus, Feira de Santana, n. 26, p. 49-61, Janeiro/Junho . 2002. Disponível em: <<http://www.scirus.com>>. Acesso em 10 julho 2007.

MUSEU DE MINERAIS E ROCHAS "HEINZ EBERT"- INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS / UNESP; **Banco de dados**, 2008. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/rochas/magmaticos/granito.html>>. Acesso em 21 julho 2008.

NEDER, L. T. C.; OLIVEIRA, W. E.; ROCHA, A. A.; SZAJNBOK, M. **Tratamento de resíduos industriais oleosos: tecnologia de encapsulamento por complexos argilo minerais – CAMs**, PE 8.1. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Buenos Aires: AIDIS/ABES, 1999.

NEVES, P. C. P.; SCHENATO, F.; BACHI, F. A. **Introdução à mineralogia prática**, 2 ed. Canoas: Ed. ULBRA, 2008.

OWSIK, Zdzislawa. **Microstructure of alkali-silica reaction products in conventional standard and accelerated testing**, Technical University of Kile, Janeiro, 2003.

PAN ABRASIVES, **Pana cut granite cutting abrasives**, Informativo empresarial. Disponível em: [www.pan-abrasives.com](http://www.pan-abrasives.com). Acesso em: 05/09/2007.

PEITER, C.C.; CHIODI FILHO, C. **Rochas Ornamentais No século XXI: Bases para uma Política de Desenvolvimento Sustentado das Exportações Brasileiras**, Rio de Janeiro: CETEM / ABIROCHAS, 2001.

PEREIRA, Fabiano Raupp; **Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentícias**: 2006. Tese de Doutorado Ciências e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2004.

PEYNEAU, G. O. R.; Pereira, G. S.. **Tratamento dos resíduos provenientes das serragens de granito através da implantação do filtro-prensa**, XXIV ENEGEP, p. 1 – 5, Florianópolis: 2004. Disponível em: [www.uvv.com.br](http://www.uvv.com.br). Acesso em 5 de maio de 2008.

POPP, José Henrique. Rochas metamórficas. In: **Geologia geral**. 4ed. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.

PONTES, I. F.; STELLIN JUNIOR, A.; **Reciclagem de finos gerados em teares de serraria**. Anais do II SUFFIB – Seminário: Uso da Fração Fina da Britagem, Cuchierato et al, São Paulo, 2005.

PREZOTTI, J. C. S., BRAGA, F. S., COUTO, M. C. L., BATISTA, T. R. O, YAMANE, L. H.; **Proposta de implantação de uma central de tratamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais em Nova Venécia – ES**, “Site” Particular, 2004. Disponível em: [http://www.manancialprojetos.com.br/port/t\\_artigo.asp](http://www.manancialprojetos.com.br/port/t_artigo.asp), Acesso em: 17 junho 2008.

RIBEIRO, Rogério P.; **Influência das características petrográfica de granitos no processo industrial de desdobramento de blocos**: 2005. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos – Depto de Geotecnia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, Sílvia C. A.; BRAGA, P. F. A.; **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

SANDRINI, I; CARANASSIOS, A. **Caracterização tecnológica de uma rocha biotita gnaisse monzogranítica com granada**, I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2003.

SEMACE – Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará. **Identificação de metais nos sedimentos dos estuários da costa do estado**. 2005. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/programas/zee/Produtos/MetaisPesado.pdf>. Acesso em: Acesso em 7 de abril de 2008.

SEP/ Instituto Jones dos Santos Neves - IJSN. **Municípios do Estado do Espírito Santo – Divisão Político-Administrativa**. 2005. Disponível em: <<http://www.es.gov.br/mapas>>. Acesso em 5 de maio de 2008.

SIAL, A. N.; McREATH, I. **Petrologia ígnea: os fundamentos e as ferramentas de estudos**. Salvador: Bureau Gráfica, 1984. 167p.

SISTEMA FIRJAN. **Manual de gerenciamento de resíduos: guia de procedimento passo a passo**. 2 Ed. RIO DE JANEIRO: GMA, 2006.

SKOOG, Douglas et al. **Fundamentos de química analítica**, 8 ed. – São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

SKOOG, Douglas et al. **Princípios de análise instrumental**, 5 ed. – Porto Alegre: Bookman, 2002.

SOSSAI, Fabiano J. M.; **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais**: 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SOUZA FILHO, Maurício Lordêllo dos Santos. **A utilização de co-produtos da siderurgia e da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais na produção de tijolos prensados**: 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

SPÍNOLA, Vera. **Potencial Exportador e Política Pública para uma Evolução Virtuosa: a Indústria de Rochas Ornamentais da Bahia**. Dissertação. (Mestrado em Economia). Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2002.

STEPHAN, Levine. KREHBIEL, Berenson. **Estatística – Teorias e aplicações**. Usando o microsoft excel em português, 3 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2005.

VIDAL, Francisco W. H. et al.; **Avaliação das rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas**, Série Minerais e Tecnologia, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1999. Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\\_STM\\_74.PDF](http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM_STM_74.PDF). Acesso em 30 julho 2008.

VIEIRA, C. M. F. et al. **Utilização de granito em massa cerâmica para telhas**, Cerâmica Industrial, Rio de Janeiro, 9(1), p. 28-32, Janeiro/Fevereiro . 2004. Disponível em: <<http://www.scirus.com>>. Acesso em 10 julho 2007.

VIEIRA JÚNIOR, H. T. **Proposta de recuperação da granalha não ativa no desdobramento de rochas ornamentais em teares multilâminas**: 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Depto. de Metalurgia da Escola de Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VILLAS BOAS, Roberto C. et al; **A review on indicators of sustainability: for the mineral extract industries**, Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CNPq/CYTED/IMPC, 2005.

VILLASCHI FILHO, A.; PINTO, M. M.; **Arranjos produtivos e inovação localizada: o caso do segmento de rochas ornamentais no noroeste do Estado do Rio de Janeiro**: nota técnica 16. Rio de Janeiro, 2000. (Estudos Empíricos). SECEX

\_\_\_\_\_. **Arranjo Produtivo de Rochas Ornamentais (mármore e granito) / ES**: nota técnica 13. Rio de Janeiro, 2000. (Estudos Empíricos). SECEX.

\_\_\_\_\_. **Rochas Ornamentais em Arranjo Produtivo**. – Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2003. (Série estudos e pesquisas)

ZACHARIASEN, W. H.; **Theory of x-ray diffraction in crystals**. Nova York: Dover Publications Inc., 1994.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Identificação dos tipos comerciais de rochas e principais empresas beneficiadoras.

<b>Amostras Coletadas</b>	<b>etapa</b>	<b>Serraria</b>	<b>Data da coleta</b>	<b>Origem da lavra</b>	<b>Rocha clássica</b>
Branco Siena (BS)	início (1)	Cajugram	10/3/2008	Cattgran (Cachoeiro de Itapemirim)	sim
	meio (2)		11/3/2008		
	fim (3)		12/3/2008		
Verde Pavão (VP)	início (1)	Cajugram	10/3/2008	Marlin Blue (Vila Pavão)	sim
	meio (2)		11/3/2008		
	fim (3)		12/3/2008		
Amarelo São Francisco (ASF)	início (1)	Cajugram	10/3/2008	IGRAM (Nova Venécia)	sim
	meio (2)		11/3/2008		
	fim (3)		12/3/2008		
Amarelo Icarai (AI)	início (1)	Cajugram	10/3/2008	IGRAM (Nova Venécia)	sim
	meio (2)		11/3/2008		
	fim (3)		12/3/2008		
Beje Ipanema (BI)	início (1)	Cajugram	23/3/2008	Muniz Freire	sim
	meio (2)		24/3/2008		
	fim (3)		25/3/2008		
Preto Aracruz (PA)	início (1)	Cajugram	25/3/2008	Aracruz	sim
	meio (2)		26/3/2008		
	fim (3)		27/3/2008		
Preto São Gabriel (PSG)	início (1)	Stargran	4/2/2008	São Gabriel (Colatina)	sim
	meio (2)		5/2/2008		
	fim (3)		7/2/2008		
Ocre Itabira (Oita)	início (1)	Stargran		Conceição de Castelo	sim
	meio (2)				
	fim (3)				
Cinza Corumbá (CC)	início (1)	Stargran		Castelo	sim
	meio (2)				
	fim (3)				
Amarelo Santa Cecília (ASC)	início (1)	Margramar Granitos	17/3/2008	IGRAM (Nova Venécia)	sim
	meio (2)		19/3/2008		
	fim (3)		22/3/2008		
Giallo Napoleone (GN)	início (1)	Margramar Granitos	28/3/2008	IGRAM (Nova Venécia)	sim
	meio (2)		30/3/2008		
	fim (3)		31/3/2008		
Jade Green (JG)	início (1)	Margramar Granitos	19/3/2008	IGRAM (Nova Venécia)	sim
	meio (2)		21/3/2008		
	fim (3)		23/3/2008		
Cinza Andorinha (CA)	início (1)	Ricamar Mineração		Cachoeiro de Itapemirim	sim
	meio (2)				
	fim (3)				
Preto Florido (PF)	início (1)	Imagi		lúna	
	meio (2)				
	fim (3)				
Mármore Pinta Verde Claro (PVC)	início (1) meio (2) fim (3)	Mineração Capixaba		Cachoeiro de Itapemirim	
Mármore Branco Clássico (MBC) 01 Mármore Branco Clássico (MBC) 02		Santa Clara		Vargem Alta	

Espaços em branco: dados não fornecidos.

## ANEXO 2

Quantificação de insumos por tipo comercial de rocha durante o processo de serragem dos blocos de granito.

Amostras residuais de granitos coletadas (nomes comerciais)	Estágio de amostragem no tear	Medida bruta do bloco (m <sup>3</sup> )	Medida líquida do bloco (m <sup>3</sup> )	Volume de cada Placa (m <sup>3</sup> )	Quant. de placas	Volume gerado de placas (m <sup>3</sup> )	Resíduo gerado (m <sup>3</sup> )	Quant. de granalha (saco)	Total de granalha (Kg)	Quant. de cal (Kg)	relação Kg cal/m <sup>3</sup> resid. seco	Consumo lâmina (cm)	tempo útil serrada (h)	% cal no rejeito seco	% Ferro no rejeito seco
Branco Siena (BS)	início (1)							2							
	meio (2)	11,86	10,35	0,06	94	5,88	4,47	11	450	203	45	1,5	58	1,7%	5,7%
	fim (3)							5							
Verde Pavão (VP)	início (1)							1							
	meio (2)	12,213	10,659	0,097	73	7,07	3,59	7	400	278	78	1,5	79,5	2,9%	6,0%
	fim (3)							8							
Amarelo S. Francisco (ASF)	início (1)			0,15225	3	0,46		3							
	meio (2)	12,744	11,92625	0,1015	54	5,48	5,99	15	375	197	33	1,5	56,5	1,2%	2,4%
	fim (3)			2 esp. placas*	57	5,94		2							
Amarelo Icarai (AI)	início (1)							8							
	meio (2)	13,572	11,4885	0,100	72	7,19	4,30	7	375	234	54	1,5	67	2,0%	4,8%
	fim (3)							0							
Beje Ipanema (BI)	início (1)							8							
	meio (2)	12,340	11,543	0,103	73	7,49	4,05	8	500	273	67	2	78	2,5%	6,8%
	fim (3)							4							
Preto Aracruz (PA)	início (1)			0,09805	1	0,10		0							
	meio (2)	12,831	11,031	0,147075	55	8,09	2,84	5	250	162	57	1	46,5	2,1%	3,3%
	fim (3)			2 esp. placas*	56	8,19		5							
Preto São Gabriel (PSG)	início (1)							2							
	meio (2)	14,030	12,331	0,130	69	8,96	3,37	3	150	130	39	1	61	1,4%	2,9%
	fim (3)							1							
Ocre Itabira (Oita)	início (1)														
	meio (2)														
	fim (3)														
Cinza Corumbá (CC)	início (1)														
	meio (2)														
	fim (3)														
Amarelo Santa Cecília (ASC)	início (1)							1,5							
	meio (2)							6,5							
	fim (3)	10,744						3,5	375	234					
Giallo Napoleone (GN)	início (1)							3,5							
	meio (2)							11							
	fim (3)	11,744			75			5	300	234					
Jade Green (JG)	início (1)							2,5							
	meio (2)							7							
	fim (3)	12,744	11,400		75			2	450	250					

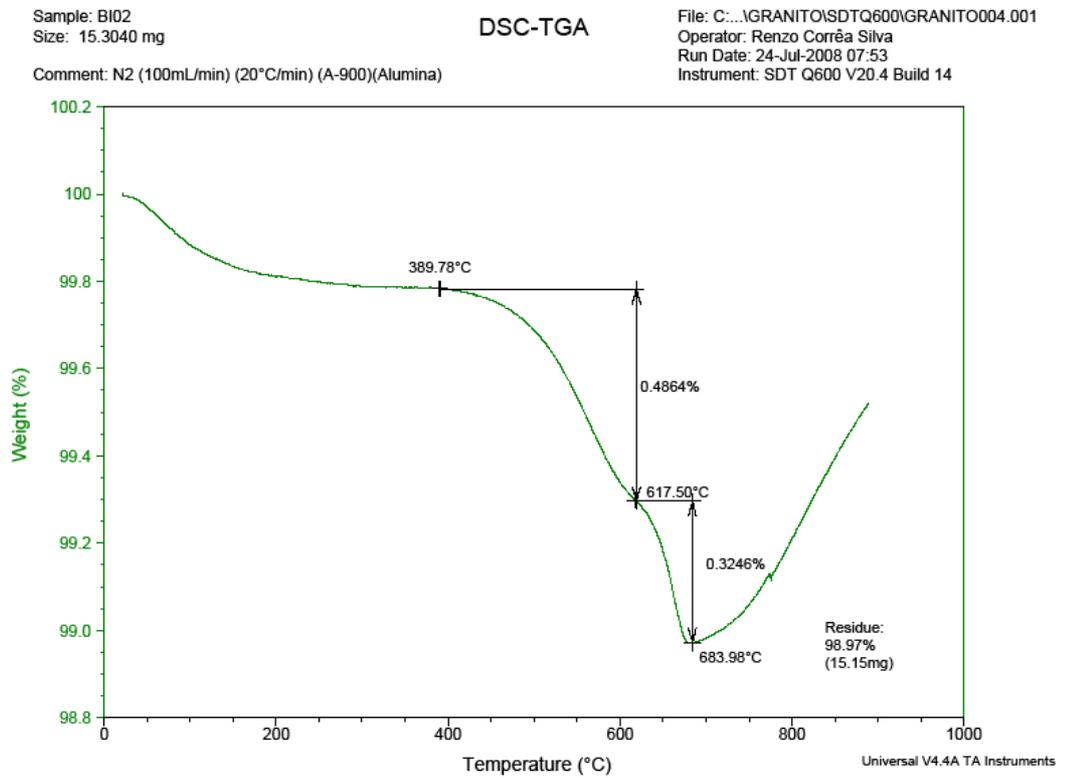
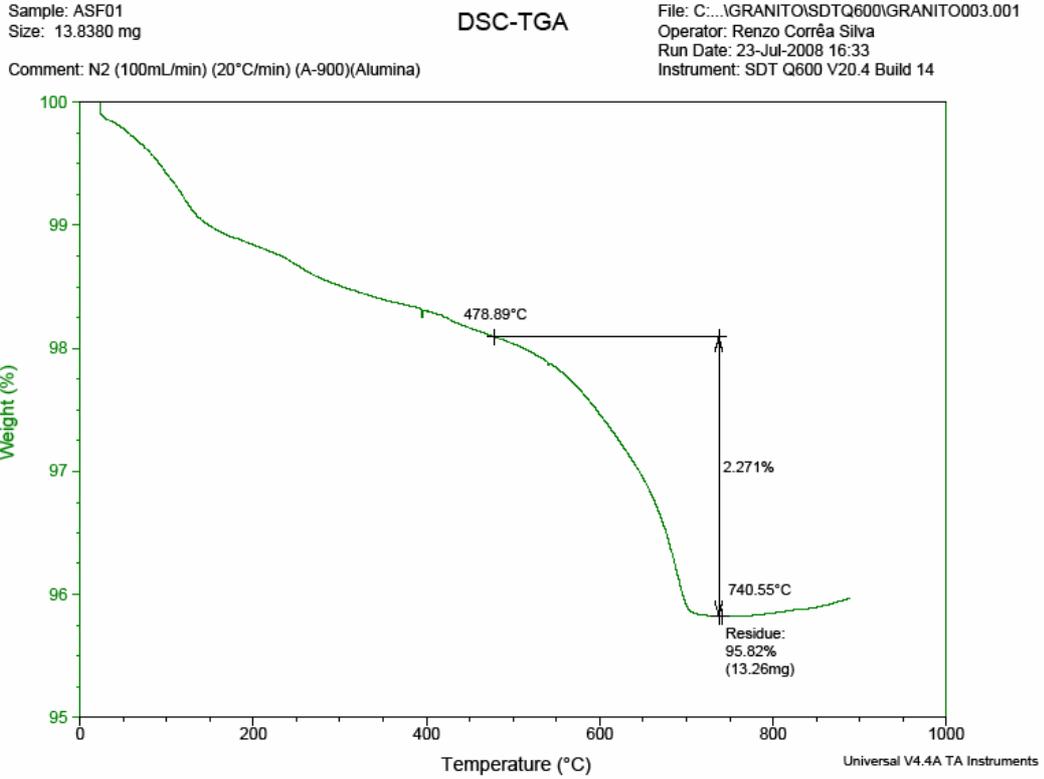
Fonte: Modificado de PRADO (em fase de elaboração). Espaços em branco: dados não fornecidos.

### ANEXO 3

Teores de água obtidos após secagem dos resíduos a 42 °C para teste de solubilização. (espaços em branco: dados ainda não levantados)

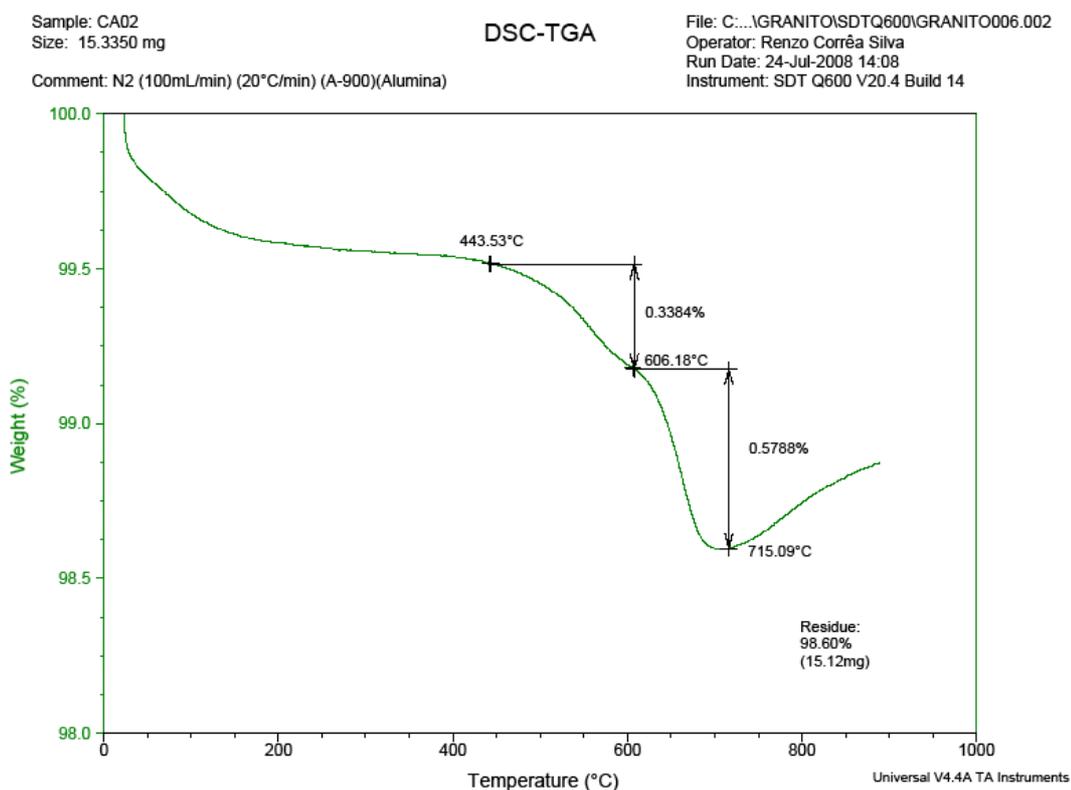
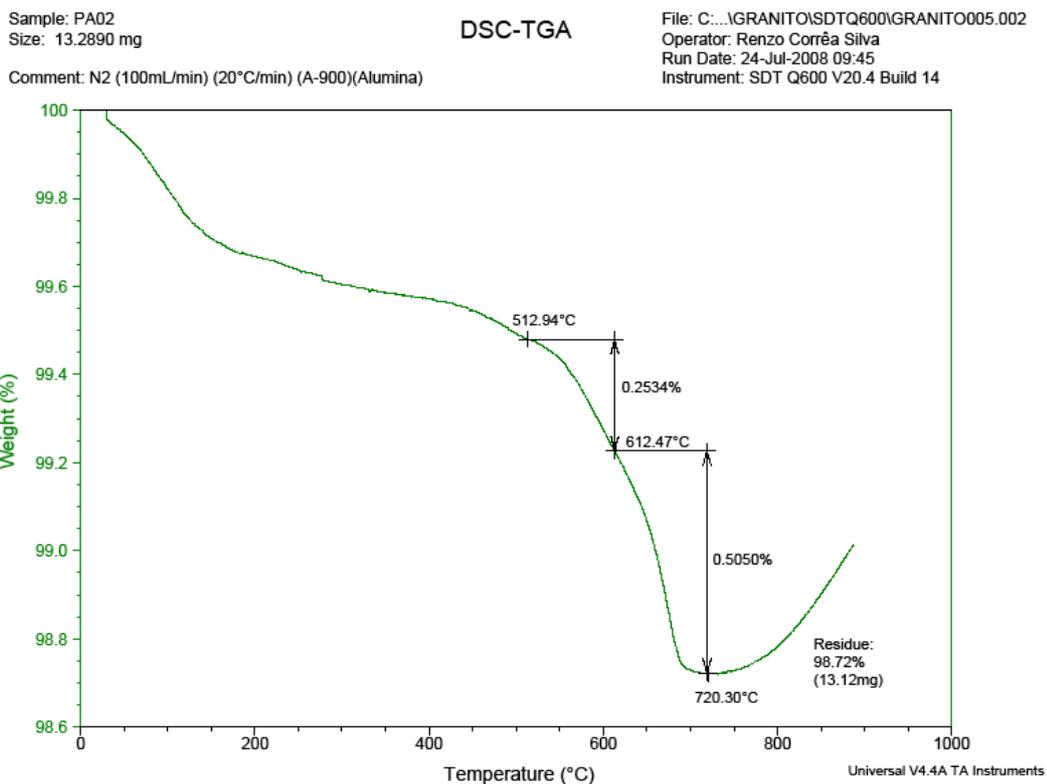
Amostras de resíduos	etapa	Massa Lama (g)	Massa Seca (g)	Teor de água 42 °C (%)	média	sd
Branco Siena (BS)	1	1011,25	491,80	51,4	52,4	1,4
	2	1115,20	520,16	53,4		
	3					
Verde Pavão (VP)	1	1002,13	491,33	51,0	46,5	5,6
	2	1001,92	599,73	40,1		
	3	1049,46	542,17	48,3		
Amarelo São Francisco (ASF)	1	390,81	188,02	51,9	51,8	6,1
	2	1001,32	543,70	45,7		
	3	1000,02	421,54	57,8		
Amarelo Icaraí (AI)	1	1000,01	567,15	43,3	43,3	
	2	1014,56	575,38	43,3		
	3					
Beje Ipanema (BI)	1	1001,89	532,35	46,9	49,6	3,1
	2	1234,17	629,23	49,0		
	3	1000,00	470,84	52,9		
Preto Aracruz (PA)	1	1414,21	717,59	49,3	46,8	2,1
	2	1129,37	614,10	45,6		
	3	1000,06	545,39	45,5		
Preto São Gabriel (PSG)	1	390,12	239,97	38,5	38,3	0,2
	2	1034,57	641,46	38,0		
	3	1001,01	617,70	38,3		
Ocre Itabira (Oita)	1				35,2	
	2	982,53	636,54	35,2		
	3					
Amarelo Santa Cecília (ASC)	1	1021,35	556,68	45,5	45,1	0,5
	2	1013,06	559,78	44,7		
	3					
Giallo Napoleone (GN)	1	917,11	530,03	42,2	42,1	0,2
	2	920,20	534,00	42,0		
	3					
Jade Green (JG)	1	392,01	234,86	40,1	37,3	2,4
	2	1008,55	649,13	35,6		
	3	1000,02	637,29	36,3		
Cinza Andorinha (CA)	1				40,4	
	2	931,53	555,44	40,4		
	3					
Preto Florido (PF)	1	1004,35	597,75	40,5	38,6	2,6
	2	1009,81	638,82	36,7		
	3					
				média global de granito	<b>44,3 ± 6,0</b>	
Mármore Pinta Verde Claro (PVC)	1	1020,19	850,23	16,7	17,7	8,1
	2	1069,48	981,13	8,3		
	3					
Mármore Branco Clássico (MBC) 01					28,1	
Mármore Branco Clássico (MBC) 02		1039,83	747,20	28,1		
				média global de mármore	<b>17,7 ± 10</b>	

**ANEXO 4 - Termogramas de alguns rejeitos da serragem de granito. (Size: massa inicial de amostra, Comment: condições de análise/ Atmosfera inerte de N<sub>2</sub> em cadinho de alumina)**



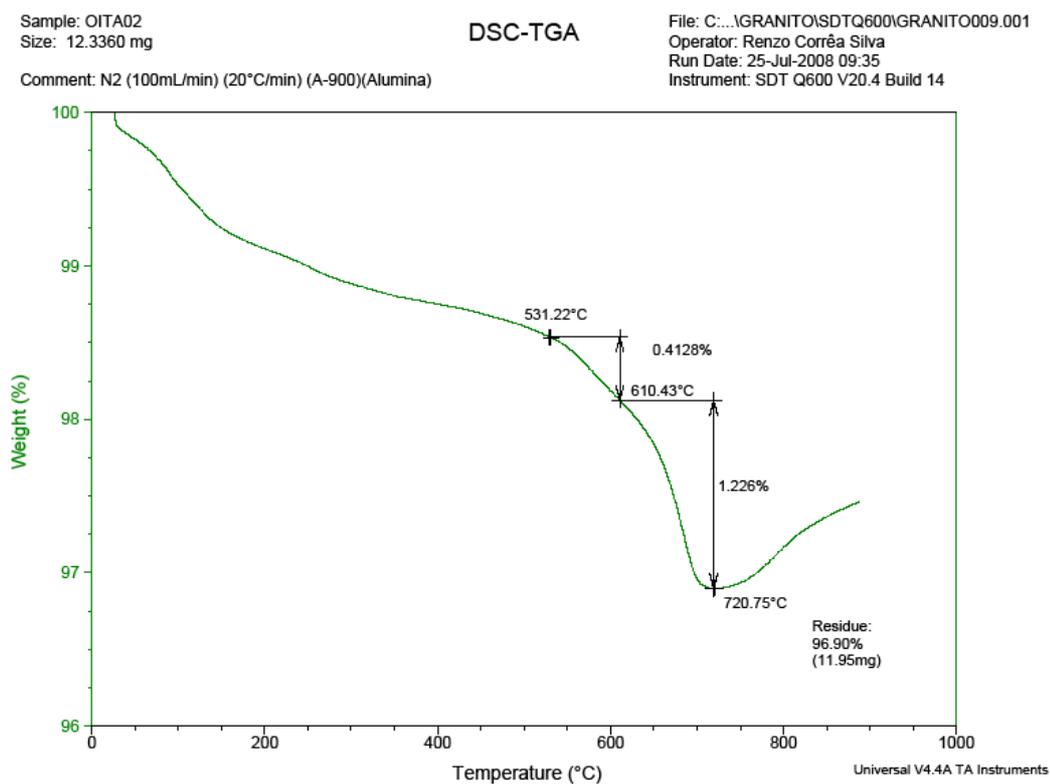
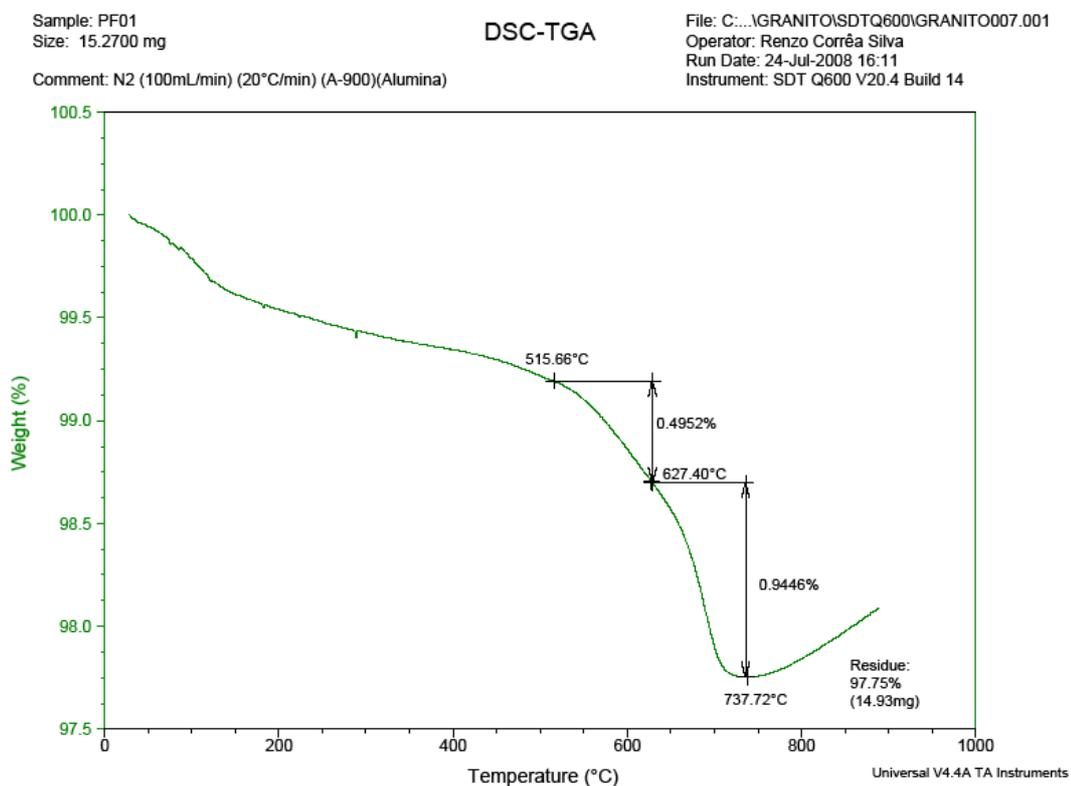
## continuação do ANEXO 4

Termogramas de alguns rejeitos da serragem de granito. (Size: massa inicial de amostra, Comment: condições de análise/ Atmosfera inerte de N<sub>2</sub> em cadinho de alumina)



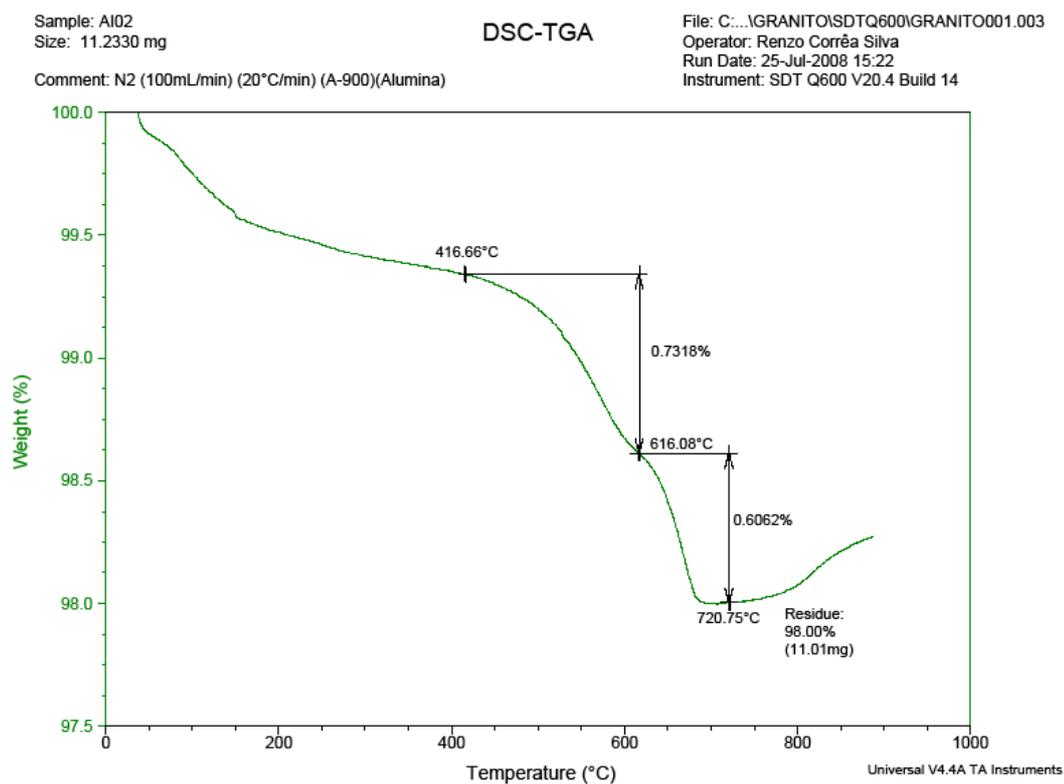
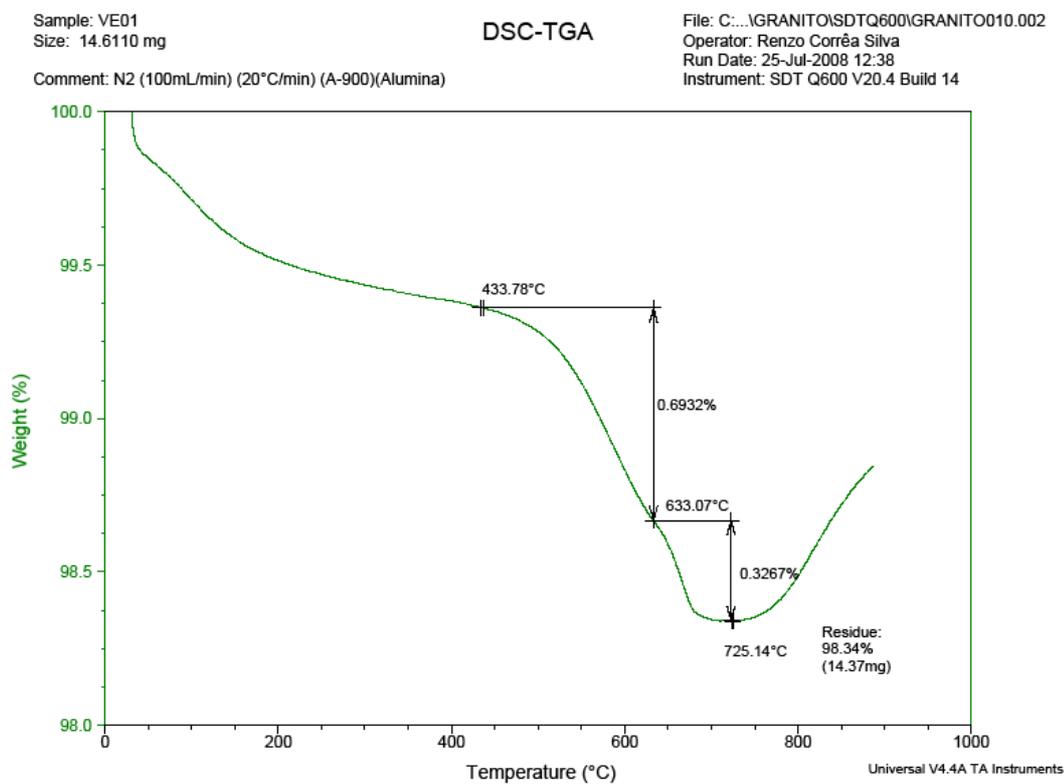
## continuação do ANEXO 4

Termogramas de alguns rejeitos da serragem de granito. (Size: massa inicial de amostra, Comment: condições de análise/ Atmosfera inerte de N<sub>2</sub> em cadinho de alumina)



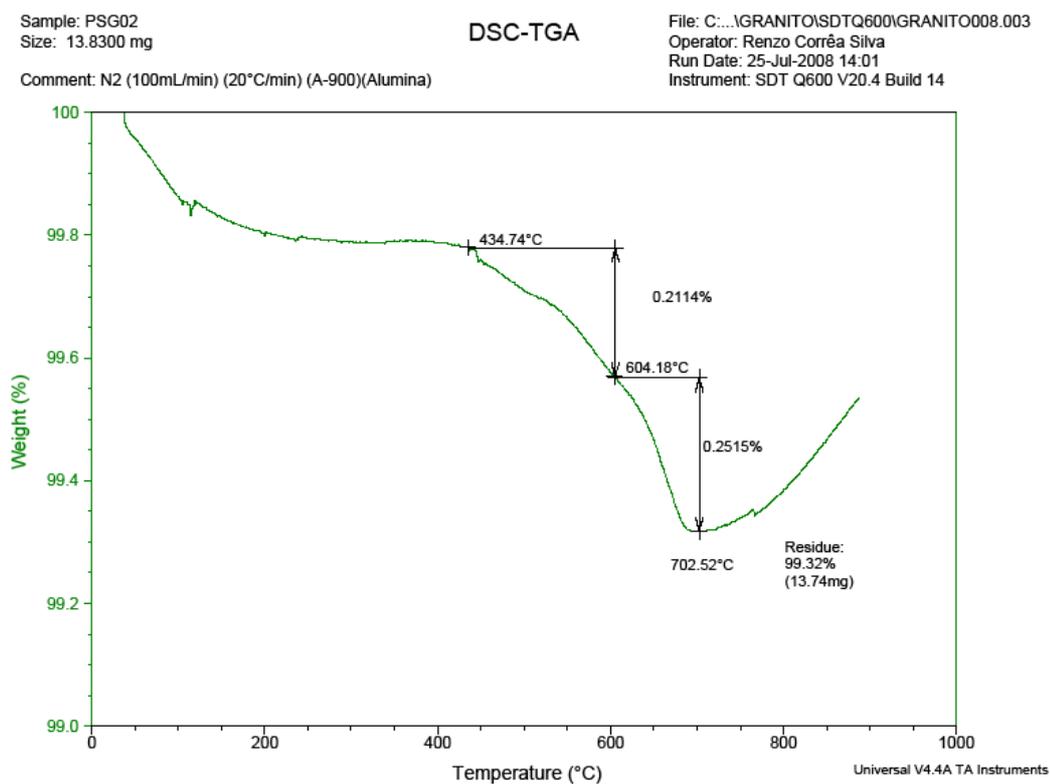
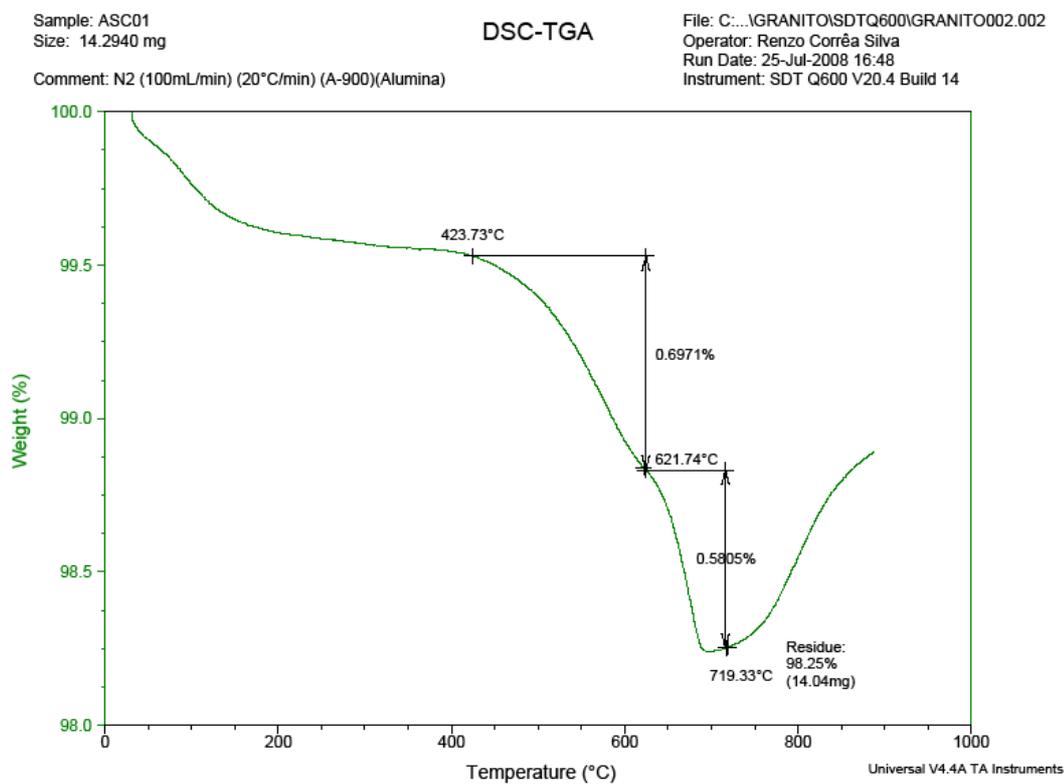
## continuação do ANEXO 4

Termogramas de alguns rejeitos da serragem de granito. (Size: massa inicial de amostra, Coment: condições de análise/ Atmosfera inerte de N<sub>2</sub> em cadinho de alumina)



## continuação do ANEXO 4

Termogramas de alguns rejeitos da serragem de granito. (Size: massa inicial de amostra, Comment: condições de análise/ Atmosfera inerte de N<sub>2</sub> em cadinho de alumina)



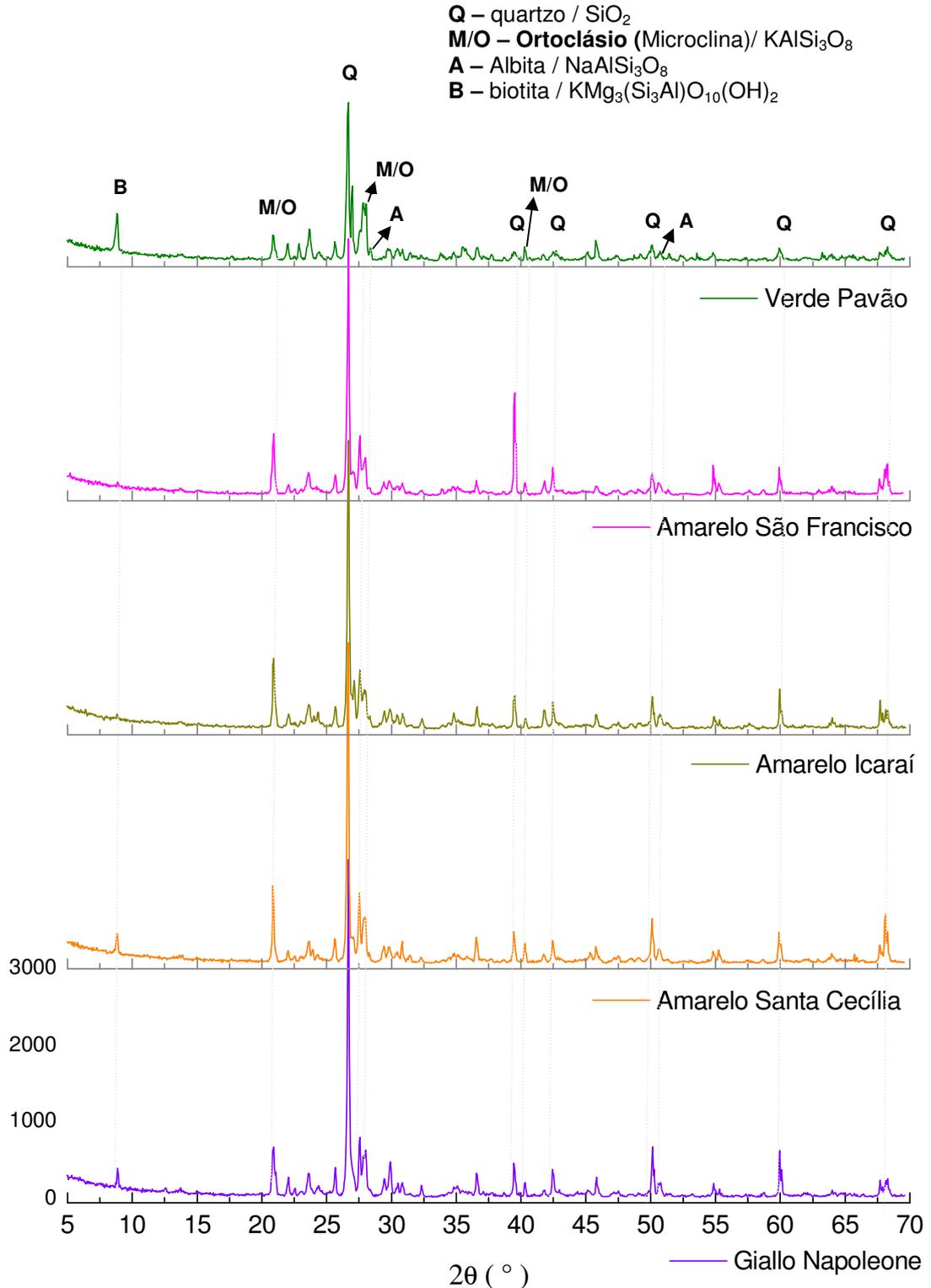
## ANEXO 5

Medidas de pH para a lama original e soluções obtidas após procedimento de lixiviação e solubilização (replicata A e B). (espaços em branco: dados ainda não levantados)

Amostras	etapa	pH das soluções			média dos pHs			
		original	pós lixiviação	pós solubil. A	pós solub. B	original	pós lixiviação	pós solubil.
Branco Siena (BS)	1	12,61						
	2	12,46	5,40			12,52	5,95	
	3	12,50	6,49					
Verde Pavão (VP)	1	12,34	6,02					
	2	12,08	5,82	8,62		12,24	5,80	8,39
	3	12,29	5,56	8,22	8,33			
Amarelo São Francisco (ASF)	1	12,80		12,28	12,18			
	2	12,70		10,96		12,69		11,81
	3	12,57						
Amarelo Icarai (AI)	1	12,85	10,40					
	2	12,91		11,53		12,80	10,40	11,53
	3	12,64						
Beje Ipanema (BI)	1	12,54		11,10	11,13			
	2	12,33	6,82	9,70	9,25	12,51	6,82	10,75
	3	12,65		11,30	12,00			
Preto Aracruz (PA)	1	12,50		11,61	11,65			
	2	12,47	6,11			12,51	6,11	11,63
	3	12,57						
Preto São Gabriel (PSG)	1	12,46	5,05	8,45	8,29			
	2	12,07	7,61	10,11	8,50	12,25	6,26	8,84
	3	12,22	6,12					
Ocre Itabira (Oita)	1	12,68	7,61					
	2	12,75	7,56	11,63	11,72	12,74	7,46	11,68
	3	12,80	7,20					
Cinza Corumbá (CC)	1	12,20						
	2	12,29		8,83	8,58	12,28		8,71
	3	12,34						
Amarelo Santa Cecília (ASC)	1	12,80	7,62	11,23	11,22			
	2	12,81	6,67			12,80	7,15	11,23
	3	12,80						
Giallo Napoleone (GN)	1	12,48						
	2	12,42	6,38	10,25	10,28	12,47	6,81	10,27
	3	12,50	7,23					
Jade Green (JG)	1	12,70		10,94	11,08			
	2	12,66	6,65	10,12		12,68	6,65	10,71
	3	12,67						
Cinza Andorinha (CA)	1	12,35	6,09					
	2	12,65		10,88	10,60	12,46	6,09	10,74
	3	12,39						
Preto Florido (PF)	1	12,47	7,23					
	2	12,42	6,33	9,72	9,71	12,41	6,78	9,72
	3	12,35						
<b>média global</b>		<b>12,53</b>	<b>6,73</b>	<b>10,35</b>				
Mármore Pinta Verde Claro (PVC)	1	12,65						
	2	10,67		9,76	9,84	11,35		9,80
	3	10,73						
Mármore Branco Clássico (MBC) 01		11,25						
Mármore Branco Clássico (MBC) 02		11,26	7,18	10,00	10,06	11,26	7,18	10,03
<b>média global</b>		<b>11,31</b>						

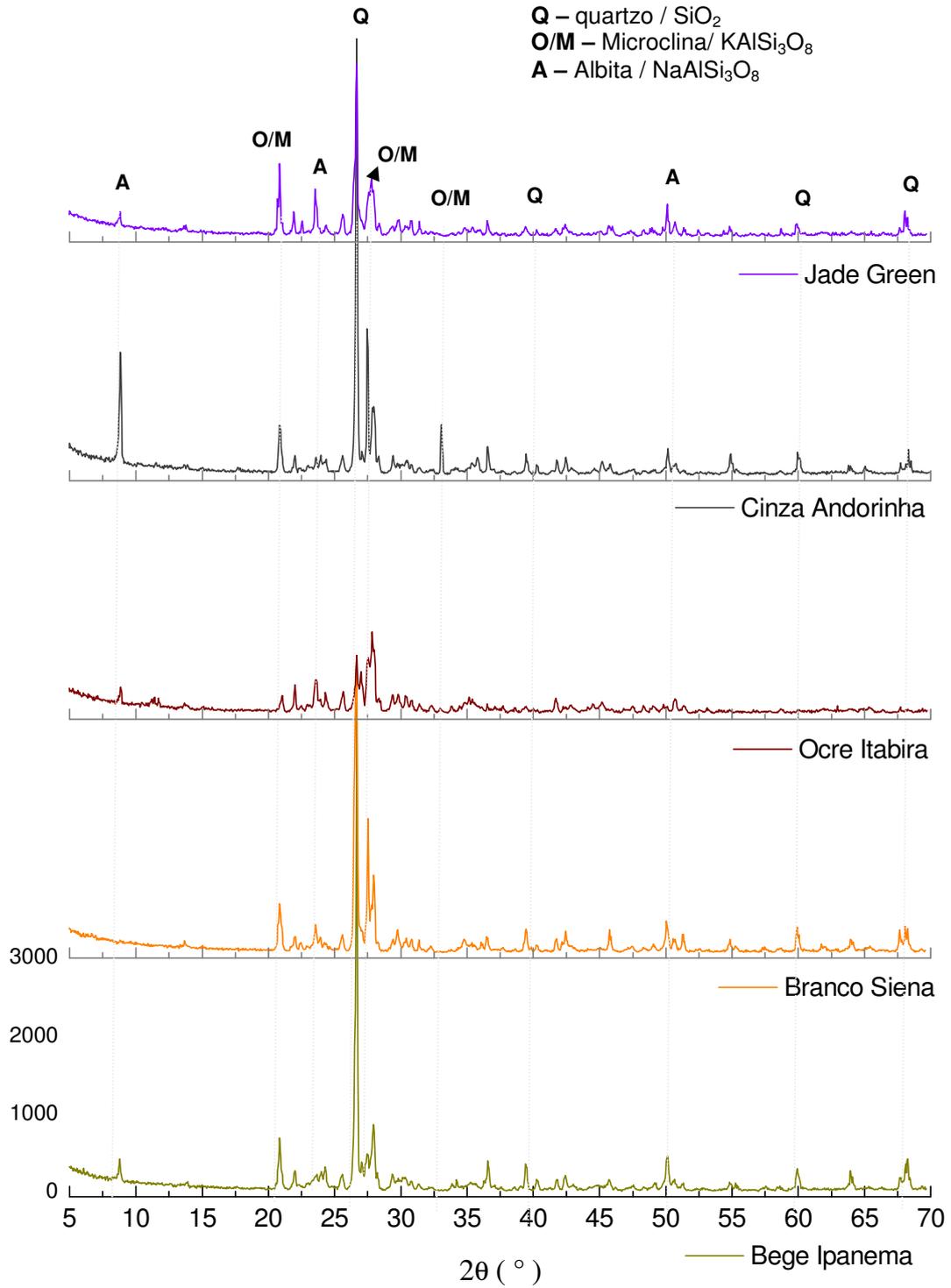
## ANEXO 6

Difratogramas de rejeitos de granito avaliados neste trabalho. Escala Y de intensidade normalizada para 3000 e escala X do ângulo de difração  $2\theta$  corrigida para o pico de quartzo  $26,662^\circ$  conforme ID 46-1045 do software PCPDFWIN, 1996.



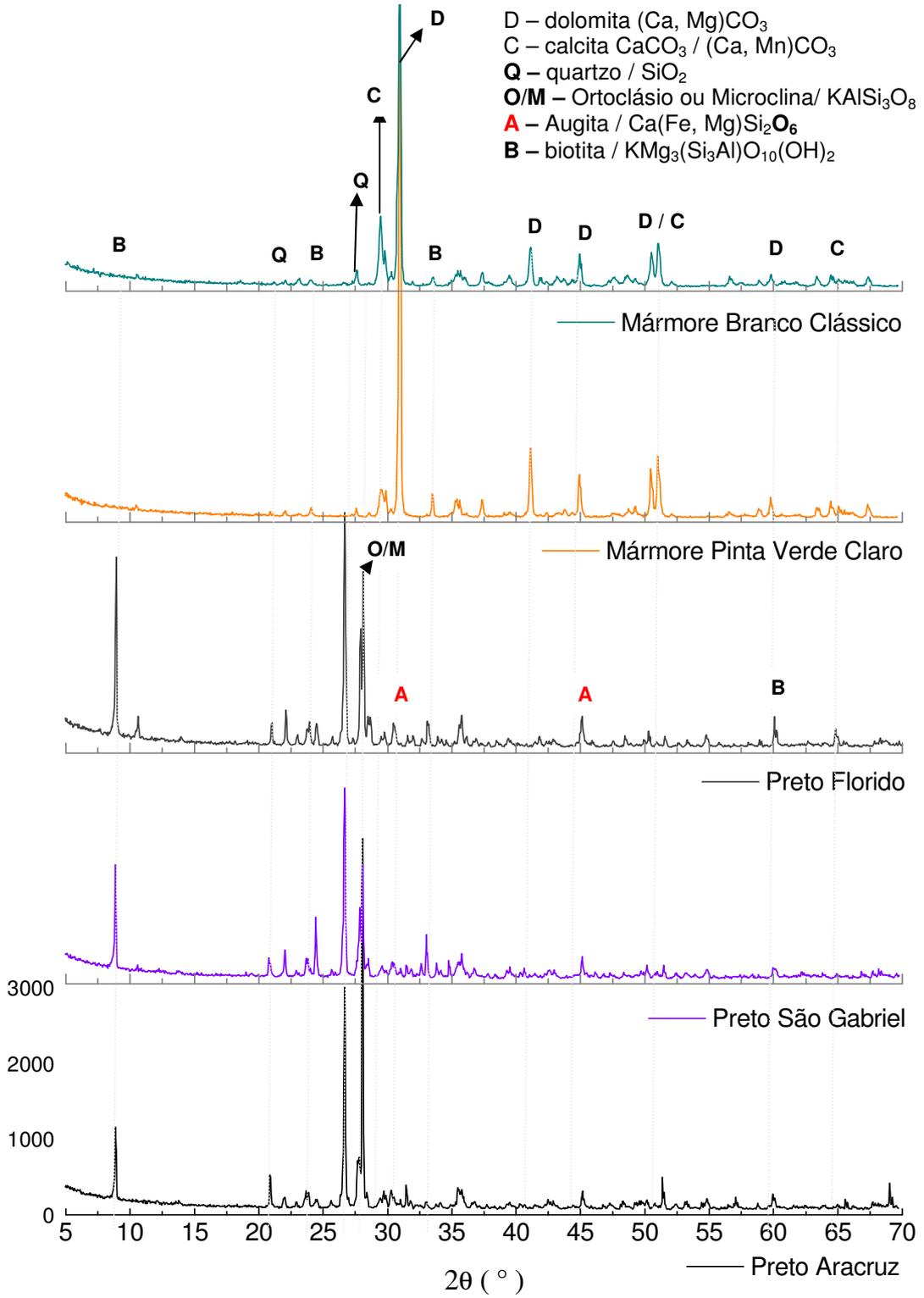
continuação do **ANEXO 6**

Difratogramas de rejeitos de granito avaliados neste trabalho.



continuação do **ANEXO 6**

Difratogramas de rejeitos de mármore e granito avaliados neste trabalho.







continuação do **ANEXO 7**

Dados levantados para a concentração de metais das amostras de lama da serragem de **granito** após os processos de solubilização e lixiviação. Concentrações em mg.L<sup>-1</sup> peso seco. (etapa da coleta; F= análise por F-AAS; GF= análise por GF-AAS; LD= limite de detecção; espaços em brancos: dados ainda não levantados. As siglas CGAI, CGV, SMO, CBI e CGO referem-se a primeira amostragem realizada, sem a padronização de coleta em etapas 1, 2 e 3).

Amostras	etapa	repl.	Solubilização										Lixiviação							
			F	GF	GF	GF	GF	GF	GF	F	F	GF	F	GF	GF	GF	F-AAS	F-AAS		
			Na	Cr	Al	As	Cd	Pb	Mn	Zn	Fe	Cu	Ca	As	Cd	Cr	Ca	Al		
Preto Florido (PF)	1	a		0,025								15					0,0013	<LD	681	0,7
	1	b		0,025								9,1								
	2	a	56	0,002		0,015	0,0004	<LD	<LD	0,02	0,12	0,0015	5,8				0,0013	0,002	421	0,9
	2	b	49	0,003		0,025	0,0004	<LD	0,0040	0,02	0,05	0,0014	5,1							
	3	a																		
	3	b																		
CGAI 01		a		0,022	2,6	0,003	<LD	<LD				0,002					0,0006	0,45	1103	1,3
CGAI 01		b		0,019	2,6	0,003	<LD	<LD									<LD	0,46	561	1,3
CGAI 02		a			4,3	<LD	<LD	<LD				<LD					<LD	0,42	566	1,9
CGAI 02		b				<LD	<LD	<LD									0,0041	0,41	561	1,9
CGV 01		a		0,037		<LD	<LD	<LD	0,0200			0,0067					0,0003	0,15	410	1,2
CGV 01		a		0,037		<LD	<LD	<LD	ND								<LD		407	1,2
CGV 02		a				0,026	<LD	<LD	0,0226			0,0102					<LD	0,17	403	1,3
CGV 02		b					<LD	<LD									<LD	0,18	409	
CBI 01		a		0,027		0,003	0,0003	<LD										0,72		
CBI 01		b		0,025		0,003	<LD	<LD	0,0050								0,0002	0,74	439	8
CBI 02		a				0,008	<LD	<LD	0,0036								<LD			
CGO		a		0,006		0,010	<LD	<LD	<LD								<LD	0,55	300	18
<b>média dos granitos</b>			<b>80</b>	<b>0,029</b>	<b>4</b>	<b>0,009</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,007</b>	<b>0,020</b>	<b>0,089</b>	<b>0,002</b>	<b>15</b>	<b>0,095</b>	<b>0,001</b>	<b>0,19</b>	<b>534</b>	<b>1,9</b>		
<b>sd</b>			<b>31</b>	<b>0,032</b>	<b>5</b>	<b>0,006</b>	<b>0,001</b>		<b>0,007</b>	<b>0,010</b>	<b>0,071</b>	<b>0,003</b>	<b>23</b>	<b>0,022</b>	<b>0,001</b>	<b>0,24</b>	<b>170</b>	<b>3,4</b>		

## ANEXO 8

Dados levantados para a concentração de metais das amostras de lama da serragem de **mármore** após os processos de solubilização e lixiviação. Concentrações em  $\text{mg.L}^{-1}$  peso seco. (etapa da coleta; F= análise por F-AAS; GF= análise por GF-AAS; LD= limite de detecção; espaços em branco: dados ainda não levantados. A sigla SMO refere-se a primeira amostragem realizada, sem a padronização de coleta em etapas 1, 2 e 3).

Amostras	etapa	repl.	Solubilização										Lixiviação						
			F	GF	GF	GF	GF	GF	GF	F	F	GF	F	GF	GF	GF	F-AAS	F-AAS	
			Na	Cr	Al	As	Cd	Pb	Mn	Zn	Fe	Cu	Ca	As	Cd	Cr	Ca	Al	
Mármore Pinta Verde Claro (PVC)	1	a																	
	1	b																	
	2	a	<LD	<LD	0,07		0,0002		<LD	0,02	0,06	<LD	0,9						
	2	b	<LD	<LD	0,07		0,0002		<LD	0,01	0,07	0,0008	0,9						
	3	a																	
	3	b																	
Mármore Branco Rajado (BR)	1	a															0,0011	0,003	
	1	b																	
	2	a																	
	2	b																	
	3	a																	
	3	b																	
Mármore Branco Clássico (MBC)	1	a																	
	1	b																	
	2	a	1	<LD	0,08	0,025	<LD	<LD	<LD	0,01	0,04	<LD	0,7				0,0002	0,003	748
	2	b	2	<LD	0,07	0,005	<LD	<LD	0,0058	0,03	0,18	0,0007	0,6						
	3	a																	
	3	b																	
<b>média dos mármore</b>			<b>2</b>		<b>0,07</b>	<b>0,015</b>				<b>0,02</b>	<b>0,09</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,8</b>				<b>0,0007</b>	<b>0,003</b>	<b>748</b>
<b>sd</b>			<b>1</b>		<b>0,01</b>	<b>0,014</b>				<b>0,01</b>	<b>0,06</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,1</b>				<b>0,0006</b>		
SMO 01		a		0,002		<LD	<LD	<LD	<LD			<LD					<LD	0,003	<LD
SMO 02		a		<LD		0,003	<LD	<LD	<LD								<LD		<LD
SMO 03		b		<LD			<LD	<LD	0,0008								<LD		<LD

## ANEXO 9

Teores de água obtidos após filtração e secagem a 100 °C para teste de lixiviação.  
(espaços em branco: dados ainda não levantados)

<b>Amostras de resíduos</b>	etapa	Massa de lama (g)	Massa de sólidos úmidos (g)	Massa de sólidos secos (g)	Teor de sólidos úmidos (%)	sd	Teor de sólidos secos (%)	sd
Branco Siena (BS)	1	100,25	77,58	48,55	77,39		48,43	
	2	202,37	150,5	91,57	74,37	2,1	45,25	2,2
	3							
Verde Pavão (VP)	1	100,3	79,91	53,71	79,67		53,55	
	2	101,35	73,88	54,47	72,90	3,4	53,74	1,5
	3	105,72	79,57	54,06	75,26		51,14	
Amarelo São Francisco (ASF)	1	100,16	78,82	64,19	78,69		64,09	
	2	100,21	81,65	50,72	81,48	1,4	50,61	7,3
	3	100,14	80,81	52,41	80,70		52,34	
Amarelo Icarai (AI)	1	100,2	88,6	55,6	88,42		55,49	
	2	100,58	87,7	54,7	87,19	0,9	54,38	0,8
	3							
Beje Ipanema (BI)	1	100,56	84,2	52,5	83,73		52,21	
	2	100,69	85,16	52,9	84,58	0,6	52,54	0,2
	3							
Preto Aracruz (PA)	1	100,22	84,7	56,1	84,51		55,98	
	2	100,54	85,3	55,2	84,84	0,2	54,90	0,8
	3							
Preto São Gabriel (PSG)	1	100,48	84,49	59,58	84,09		59,30	
	2	100,04	85,81	55,5	85,78	1,7	55,48	2,4
	3	100,45	87,78	55,05	87,39		54,80	
Ocre Itabira (Oita)	1	100,34	83,2	51,6	82,92		51,43	
	2	100,66	84,1	52,7	83,55	0,4	52,35	0,7
	3							
Amarelo Santa Cecília (ASC)	1	101,93	85,62	56,96	84,00		55,88	
	2	100,44	83,23	55,18	82,87	1,7	54,94	0,6
	3	100,1	86,36	54,79	86,27		54,74	
Giallo Napoleone (GN)	1	101,3	88,14	53,74	87,01		53,05	
	2	100,33	86,34	52,61	86,06	0,7	52,44	0,4
	3							
Jade Green (JG)	1	100,18	90,86	66,55	90,70		66,43	
	2	100,74	81,8	53,27	81,20	5,8	52,88	8,2
	3	100,14	80,3	51,85	80,19		51,78	
Cinza Andorinha (CA)	1	100,92	86,5	57,1	85,71		56,58	
	2	100,2	84,56	55,1	84,39	0,7	54,99	0,8
	3	100,35	85,03	55,7	84,73		55,51	
Preto Florido (PF)	1	100,23	83,61	53,4	83,42		53,28	
	2	100,55	84,6	52,53	84,14	0,5	52,24	0,7
	3	100,87	83,9	54,02	83,18		53,55	
média global de granito					<b>83,1 ± 4,0</b>		<b>54,1 ± 3,8</b>	
Mármore Pinta Verde Claro (PVC)	1	100,36	85	79,03	84,70		78,75	
	2	100,64	85,5	80,03	84,96	0,3	79,52	0,5
	3	100,21	84,5	78,71	84,32		78,55	
Mármore Branco Clássico (MBC) 01		100,12	90,6	82,04	90,49	0,5	81,94	0,6
Mármore Branco Clássico (MBC) 02		103,1	94,01	83,6	91,18		81,09	
média global de mármore					<b>87,1 ± 3</b>		<b>80,0 ± 1</b>	

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)